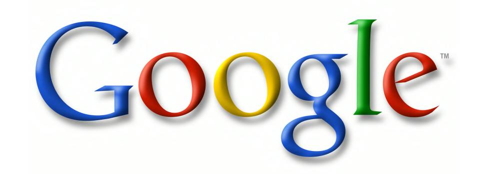
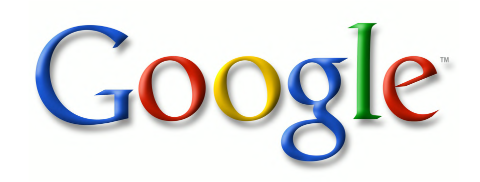
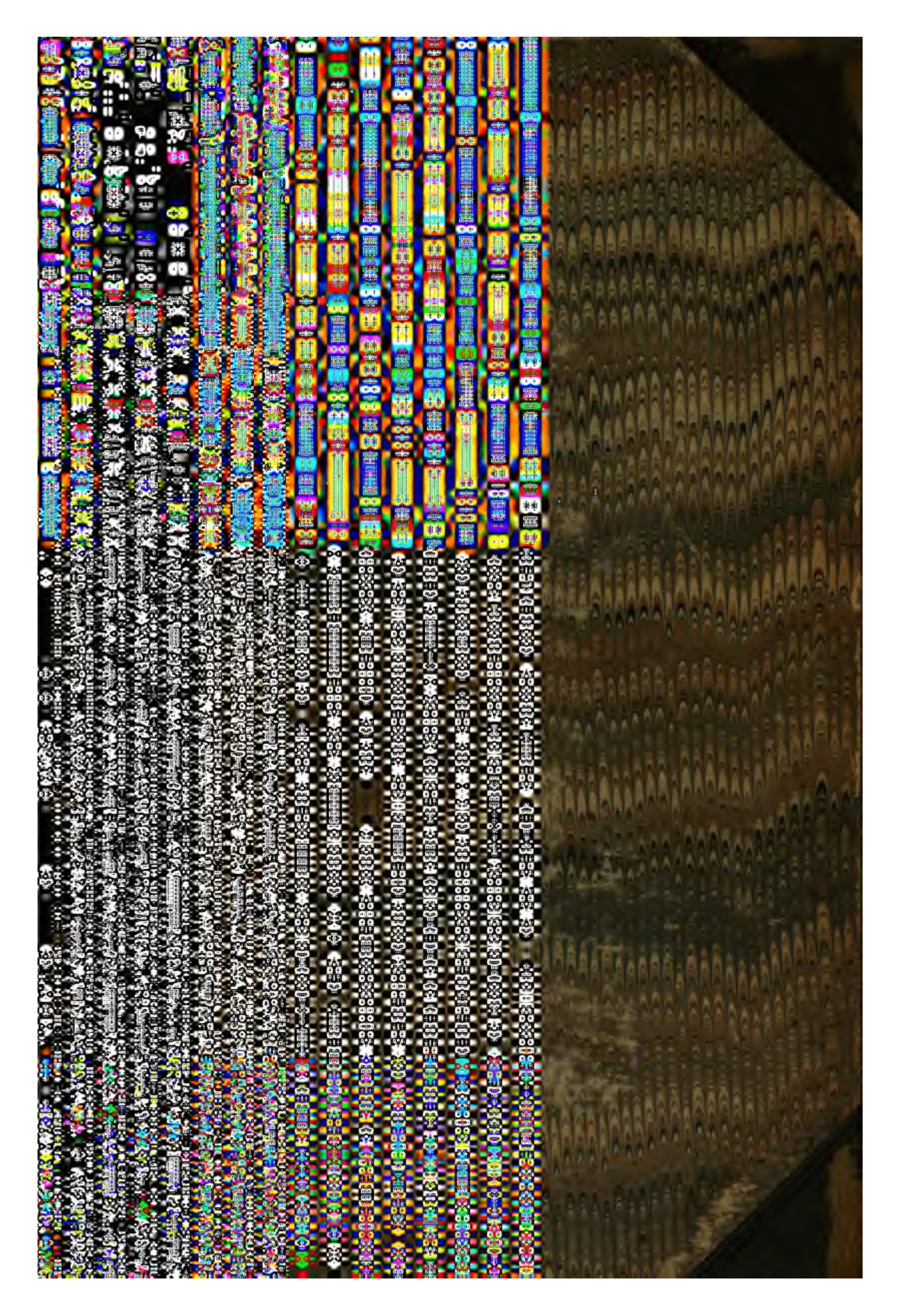
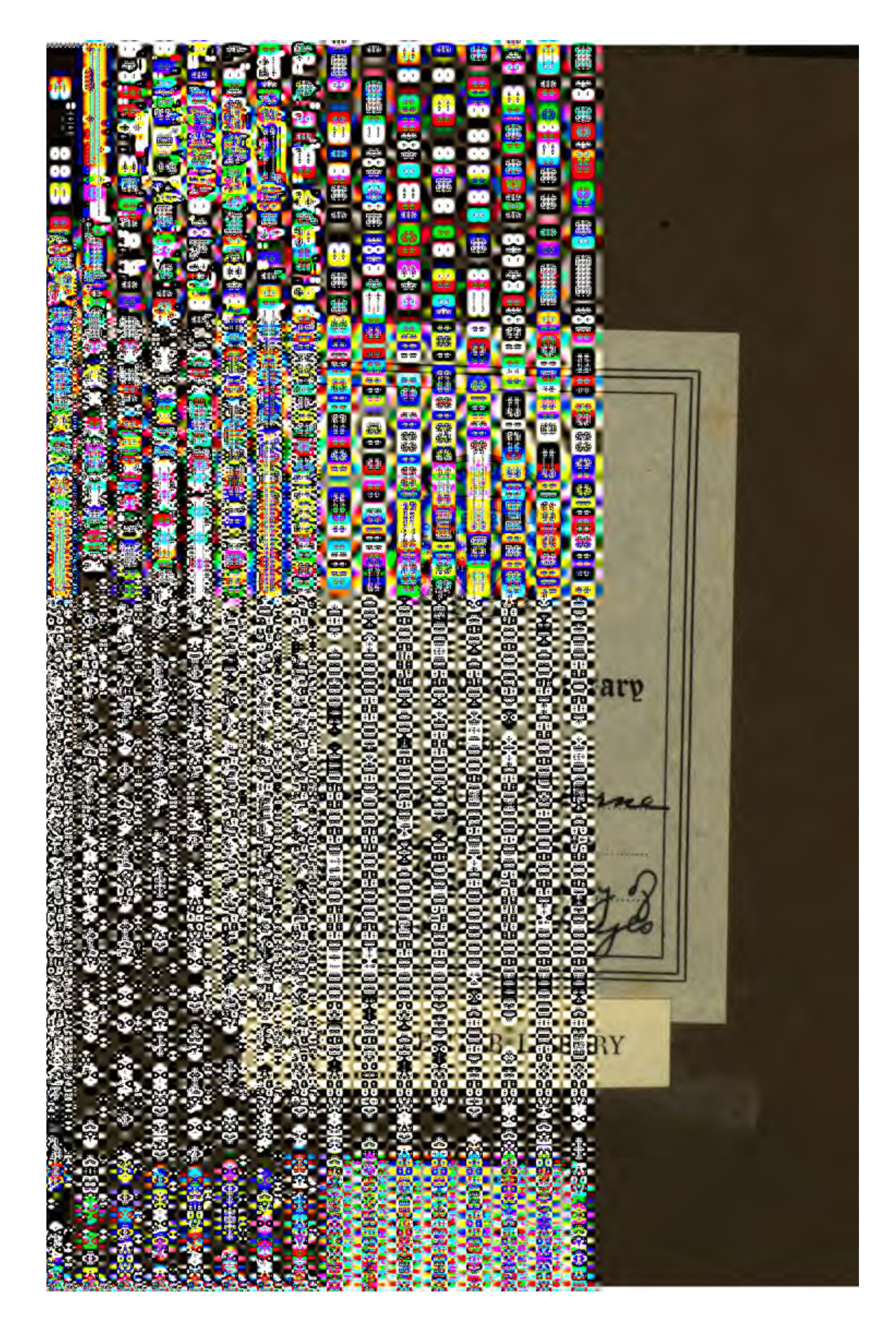










MANUEL

DE LA

MÉTALLURGIE DU FER.

Se trouve aussi

A PARIS,

Chez ANSELIN, rue Dauphine, n° 9.
F. G. LEVRAULT, rue de la Harpe, n° 81.
BACHELIER, quai des Augustins, n° 55.
CARILLAN-GOEURY, quai des Augustins, n° 41.

A STRASBOURG,

Chez F. G. LEVRAULT, rue des Juifs, n° 33.

A BESANÇON,

Chez BINTOT, Libraire.

METZ. — LAMORT, IMP. DE L'ACADÉMIE ROYALE.

MANUEL

DE LA

MÉTALLURGIE DU FER,

PAR

C. J. B. KARSTEN,

CONSEILLER SUPÉRIEUR ET INTIME DES MINES DE PRUSSE, CHEVALIER DE LA CROIX DE FER, MEMBRE DE L'ACADÉMIE DE BERLIN, ET DE PLUSIEURS AUTRES SOCIÉTÉS SAVANTES;

TRADUIT DE L'ALLEMAND

PAR

F. J. CULMANN,

CHEF D'ESCADRON AU NEUVIÈME RÉGIMENT D'ARTILLERIE, ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE, CHEVALIER DU MÉRITE MILITAIRE ET DE LA LÉGION-D'HONNEUR, MEMBRE DE L'ACADÉMIE ROYALE DE METZ.

SECONDE ÉDITION

ENTIÈREMENT REFONDUE ET CONSIDÉRABLEMENT AUGMENTÉE SUR LA SECONDE ÉDITION DE L'ORIGINAL.

TOME DEUXIÈME.

METZ,

Mme THIEL, ÉDITEUR,

LIBRAIRE DE L'ACADÉMIE, DE L'ÉCOLE ROYALE D'APPLICATION DE L'ARTILLERIE ET DU GÉNIE, DU BULLETIN UNIVERSEL DES SCIENCES.

1830.

George R. Osborne &
Dudley E. Fitts
From the library of
William Hayes.

TABLE DES MATIÈRES

PAR ORDRE DE PARAGRAPHES.

TROISIEME SECTION.

DES MACHINES SOUFFLANTES.

DES TROMPES.

DES TROMPES AMÉLIORÉES.

DES SOUFFLETS EN CUIR.

DES SOUFFLETS DE BOIS.

DES SOUFFLETS A PISTON.

DES SOUFFLETS HYDRAULIQUES.

DES RÉGULATEURS.

DU VOLUME, DE LA DENSITÉ ET DE LA VITESSE DE L'AIR FOURNI PAR LES MACHINES SOUFFLANTES.

QUATRIÈME SECTION.

DU FER CRU.

PREMIÈRE DIVISION.

DE LA RÉDUCTION DES MINÉRAIS POUR EN OBTENIR DE LA FONTE.

GÉNÉRALITÉS SUR LES FOURNEAUX EMPLOYÉS POUR LE TRAITEMENT DES MINÉRAIS.

DES STUCKOFEN.

DES FLUSSOFEN OU BLAUOFEN.

DES HAUTS FOURNEAUX.

DES DIMENSIONS QU'IL FAUT DONNER AUX HAUTS FOURNEAUX, EU ÉGARD AUX MATIÈRES QU'ON EMPLOIE.

DE LA MISE EN FEU.

DU TRAVAIL DES HAUTS FOURNEAUX.

DE L'ALLURE DES HAUTS FOURNEAUX.

DES SIGNES AUXQUELS ON RECONNAIT L'ALLURE DU FOURNEAU.

CONSIDÉRATIONS PARTICULIÈRES SUR LE TRAITEMENT DES MINÉRAIS DE FER DANS LES HAUTS FOURNEAUX.

DEUXIÈME DIVISION.

DU FER CRU DESTINÉ POUR LA FABRICATION DES OBJETS COULÉS.

DE LA REFONTE DU FER CRU.

DE LA REFONTE DU FER DANS DES CREUSETS.

DE LA REFONTE DU FER CRU DANS DES FOURNEAUX A CUVE.

DE LA REFONTE DU FER CRU DANS DES FOURS A RÉVERBÈRE.

DE LA FABRICATION DES OBJETS COULÉS.

DE LA SABLERIE.

Du moulage pratiqué dans le sol de l'usine.

Du moulage en sable maigre et avec châssis.

DU MOULAGE EN SABLE GRAS.

DU MOULAGE EN ARGILE.

DU MOULAGE DES STATUES.

DE L'ACHÈVEMENT DES OBJETS COULÉS.

NOTICE DU TRADUCTEUR SUR LA FABRICATION DES PROJECTILES.

DE LA FABRICATION DES PROJECTILES CREUX.

DE LA FABRICATION DES PROJECTILES PLEINS.

DE LA RÉCEPTION DES PROJECTILES.

FIN DE LA TABLE DU DEUXIÈME VOLUME.

ERRATA.

Pag.	*Lig.*		*Lisez.*
5 —	2	denx	deux.
28 —	17	un	une.
39 —	7	recouvert	recouverte.
50 —	19	erminée	terminée.
60 —	17	de	du.
61 —	31	BAR	PAR.
62 —	1	lancée	lancé.
67 —	7	de de mercure	de mercure de.
101 —	14	des barres	de barres.
126 —	9	pocardé	bocardé.
132 —	22	haut foyer	haut fourneau.
173 —	31	pèchant	péchant.
232 —	28	réfactaire	réfractaire.
267 —	dernre	sulfurée	sulfuré.
289 —	1	erruption	éruption.
300 —	16	hauteur la cheminée	hauteur de la cheminée.
320 —	4	il rare	il est rare.
329 —	24	à la grille	et la grille.
449 —	11	de cônes	de cônes ou de pyramides.

MANUEL

DE LA

MÉTALLURGIE DU FER.

TROISIÈME SECTION.

DES MACHINES SOUFFLANTES.

595. C'est par des courans d'air, plus ou moins rapides, qu'on active la combustion et qu'on produit le degré de chaleur nécessaire aux opérations métallurgiques. Ces courans d'air sont obtenus, ou par un simple *tirage* ou par des appareils particuliers, appelés *machines soufflantes*, à l'aide desquels l'air est recueilli, comprimé et lancé dans les fourneaux.

On établit le *tirage* ou le courant d'air libre, en dilatant le fluide dans un certain espace, au moyen de la combustion; l'air extérieur se précipite alors dans cet espace avec plus ou moins de vitesse. C'est sur cette tendance des deux airs, à se mettre en équilibre, que repose le travail du charbonnier, la fusion du fer cru dans les fours à reverbère, etc., etc.

Quoique l'invention des soufflets *de cuir* remonte à la

plus haute antiquité, il paraît cependant que l'usage des courans d'air libre, employés à la fusion des métaux, est bien plus ancien qu'on ne le croit ordinairement. Il existe des peuples dont la civilisation est assez avancée pour qu'ils ne puissent ignorer l'effet et le mécanisme des soufflets, et qui cependant fondent encore aujourd'hui leurs minérais dans des fourneaux à cuve, où la combustion est activée par un tirage (36). Des contrées où, dans le moyen âge, on travaillait le fer, nous présentent encore les traces de la fusion du minérai dans des fourneaux à vent construits sur des hauteurs dépourvues de sources et de ruisseaux, quoiqu'on n'ignorât pas alors l'usage des soufflets mis en mouvement par un cours d'eau, et que d'ailleurs l'eau abonde dans le voisinage.

596. Dans les foyers où la fusion doit s'opérer avec des charbons qui sont en contact immédiat avec les minérais ou les métaux, on ne peut employer avantageusement le tirage de l'air libre, parce qu'il s'agit presque toujours de diriger une certaine quantité d'air sur un point déterminé. Ces foyers sont donc pourvus de plusieurs ouvertures appelées *tuyères*, par lesquelles on leur fournit un air comprimé, au moyen de machines soufflantes.

597. Le tuyau qui conduit l'air dans le foyer, reçoit le nom de *buse*; son ouverture par laquelle le vent sort pour entrer dans le fourneau, s'appelle *œil* ou *bouche*. On donne à la buse la forme d'un cône, dont la grande base communique immédiatement ou par l'intermédiaire d'un porte-vent, avec la machine soufflante. On emploie le plus souvent deux soufflets qui, d'après des mouvemens combinés, agissent sur un seul point; les buses sont placées alors dans la même tuyère. Mais aujourd'hui les soufflets sont construits de façon qu'ils versent l'air dans un réser-

voir commun, auquel on adapte un porte-vent qui communique avec une buse. C'est pour cette raison que les machines soufflantes sont désignées souvent par le nombre de leurs buses. Un seul de ces conduits suppose toujours un régulateur.

598. Il sort d'autant moins d'air par la buse, dans un temps donné, pour une pression constante, que l'œil est plus petit. Si pour une même buse, la pression augmente, il en sortira davantage avec une plus forte vitesse; mais si, dans ce cas, le vent doit recevoir plus de vélocité sans qu'on veuille communiquer au fourneau une plus grande quantité d'air, la bouche des buses doit être diminuée. Il faut l'élargir lorsque, avec une augmentation de force, la vitesse du vent doit rester la même, etc. Il est donc essentiel de lui donner une ouverture convenable et proportionnée à l'effet de la machine soufflante.

599. Le mécanisme de tous les soufflets consiste à lancer au-dehors l'air recueilli dans un espace quelconque, qui se remplit aussitôt après, d'air atmosphérique. La plus ancienne machine de cette espèce n'était formée que d'une peau d'animal; on a perfectionné ensuite la manière de la comprimer et de la distendre, en donnant plus de souplesse aux peaux par le tannage, et en y ajoutant des surfaces inflexibles pour faciliter le mouvement.

600. La chèreté du cuir qui s'use très-vite dans les plis, fit répandre en peu de temps une découverte qui eut lieu en Allemagne, à la fin du seizième ou au commencement du dix-septième siècle, et que, d'après Schlutter, on doit à un évêque de Bamberg; elle consiste à remplacer le cuir par une caisse en bois qui se meut autour d'un axe porté par une surface immobile, appelée le *gîte*. Telle

est en général l'idée qu'on doit se former du *soufflet de bois*, qu'on appelle quelquefois soufflet de bois pyramidal, pour mieux le caractériser sous le rapport de sa forme.

601. Plus tard, on améliora le soufflet de bois. La caisse mobile qu'on appelle le *volant*, devant joindre parfaitement contre les côtés du gîte, éprouvait un frottement considérable qui neutralisait une grande partie de la force motrice. Comme la caisse mobile est attachée au gîte, le plan supérieur du premier ne peut s'appliquer parfaitement contre le plan immobile: il reste donc après que les deux surfaces sont le plus rapprochées qu'il est possible, un espace rempli d'air comprimé, qui pendant le mouvement rétrograde, se dilate sans jamais pouvoir sortir, et qui diminue d'autant plus l'effet de la machine que la pression de l'air est plus considérable*.

602. Pour remédier au premier de ces inconvéniens, on a placé la caisse mobile dans une cuve remplie d'eau, de manière que l'air aspiré, quand le volant s'élève, s'échappe lors du mouvement retrograde, par un conduit qui dépasse la surface de l'eau.

Il paraît que ces soufflets sont venus d'Espagne et qu'ensuite ils ont été essayés en France. Grignon, dans ses mémoires de physique sur l'art de fabriquer le fer, apprend que des soufflets semblables établis à Chatelaudrun, furent abandonnés pour diverses causes d'imperfection: remis en vogue par M. Baader, qui les améliora, ils reçurent plus tard le nom de cet auteur.

* Il sera souvent question par la suite de cet espace où, d'après l'expression des ouvriers, *l'air fait matelas;* comme il est sous un certain rapport préjudiciable à l'effet des machines soufflantes, il sera désigné sous le nom *d'espace nuisible*. Voyez à ce sujet la note que nous avons ajoutée au paragraphe 667. Le T.

603. On a diminué l'espace nuisible qui retient une certaine portion d'air comprimé, en détachant les deux surfaces l'une de l'autre; et pour faciliter le mouvement, on a rendu la première fixe, et le plateau mobile : par cette amélioration il a été possible de rapprocher davantage les deux surfaces extrêmes, pendant le jeu de la machine. Les caisses sont rondes ou carrées, et d'après leur forme, les soufflets portent le nom de soufflets à *piston, carrés* ou *cylindriques.*

On peut les confectionner en bois, en fonte ou en pierre. En bois, ils sont doublés quelquefois avec des plaques de plomb ou de fer cru.

604. On chasse donc au dehors l'air recueilli dans les soufflets, soit en écrasant les parois flexibles, soit en imprimant à une caisse un mouvement angulaire vers une surface immobile, soit en faisant mouvoir un plateau parallèlement à lui-même dans l'intérieur d'une caisse fixe, soit en faisant mouvoir une caisse dans une cuve remplie d'eau. Les soufflets sont par conséquent de quatre espèces différentes:

1° A parois flexibles: ce sont les soufflets en cuir.

2° A parois inflexibles et avec une caisse mobile autour d'un axe: ce sont les soufflets de bois proprement dits.

3° A caisse immobile, dans laquelle se meut un plateau qui ne fait pas système avec elle : ce sont les soufflets à piston.

4° A caisse mobile, entre parois mobiles, ce sont les soufflets à eau.

605. Il existe en outre d'autres machines soufflantes, qui diffèrent totalement de celles dont il vient d'être question: l'air qu'on veut recueillir est entraîné par une colonne d'eau que renferme un tuyau vertical, dans une

caisse hermétiquement fermée; là les deux fluides se séparent: l'eau s'écoule par une ouverture pratiquée au-dessous de son niveau, et l'air passe dans un porte-vent adapté à la partie supérieure du réservoir. Les machines soufflantes de cette nature s'appellent *trompes*.

DES TROMPES.

606. Voici quelle est en général l'idée qu'on peut se faire des trompes inventées en Italie, d'après Grignon, vers l'an 1640 : à une caisse fermée hermétiquement (A) (Pl. I, Fig. 1) s'adaptent un ou plusieurs tuyaux verticaux, dont les ouvertures supérieures communiquent avec un courant d'eau. Ce liquide entraine dans sa chute une certaine quantité d'air qui se trouve comprimé dans la caisse : cette dernière est pourvue de deux ouvertures : l'une pour l'écoulement de l'eau et l'autre pour celui de l'air. L'ouverture qui donne issue au fluide élastique, communique avec la buse par des porte-vents. Par cette disposition, l'air comprimé exerce d'autant moins de pression sur l'eau que la buse est plus large : il faut donc, si l'on veut conserver un certain niveau, élargir dans le même rapport le trou d'écoulement de l'eau. Au reste la pression est proportionnelle à la différence de la colonne d'eau intérieure à la colonne extérieure, ou elle est en rapport inverse avec l'aire de l'orifice d'écoulement du liquide : lorsque celui-ci ne varie pas, la vîtesse du vent ne dépend que de l'ouverture de la buse *.

Le grandeur du trou d'écoulement pratiqué au fond de la caisse, doit donc se calculer et d'après la masse d'eau affluante et d'après la vitesse qu'on veut donner au vent. Ce

* C'est ce qui arrive quand on place la cuve dans un réservoir, ce qui est le cas ordinaire. Le T.

trou ne doit pas être assez grand pour que le niveau reste le même sans une pression de l'air; il faut le diminuer en raison de cette pression qui doit être exercée sur le liquide, puisqu'elle en précipite l'écoulement.

607. La construction des trompes est très-simple; il ne s'agit que de faire tomber un courant d'eau d'une certaine hauteur par des tuyaux, dans une caisse hermétiquement fermée et pourvue cependant de trois ouvertures, l'une pour l'expiration de l'air comprimé, les deux autres pour l'entrée et la sortie de l'eau.

Outre l'air qu'on fait affluer dans les tuyaux, à l'aide de dispositions particulières, l'eau en contient aussi une grande quantité, qui peut en être séparée par des moyens mécaniques : on y parvient en la faisant jaillir contre des blocs ou banquettes de bois ou de pierres *a, a,* placées dans la caisse. Au reste ces banquettes servent principalement à briser la vitesse de l'eau et à prévenir les dégradations qui pourraient en résulter.

Les issues *b,* pour le vent, sont pratiquées à la partie supérieure de la cuve, à laquelle on adapte des porte-vents qui conduisent l'air dans la buse.

608. Les caisses ou cuves peuvent être cylindriques, carrées, coniques ou d'une forme quelconque; on les confectionne en bois, par économie; mais il vaudrait mieux les faire en fonte, parce que les cuves en bois, sont sujettes à se fendre, lorsque l'appareil n'est pas en activité. Souvent on les fait communiquer ensemble pour réunir l'air de toutes les caisses dans un seul porte-vent.

Le fond de la cuve, si on la fermait à la base, devrait être assemblé avec beaucoup de précision et de solidité, afin que l'eau ne pût s'écouler que par une issue déterminée : mais alors, si par une raison quelconque, la

pression de l'air venait à varier, il faudrait changer aussi les dimensions du trou d'écoulement, et cette opération, qui nécessiterait des calculs précis ou de longs tâtonnemens, serait assez difficile.

On évite ces inconvéniens et l'on donne plus de solidité à la caisse, à l'aide d'un moyen très-facile; il suffit de supprimer le fond, et de placer la cuve sur des chantiers, dans un réservoir d'eau, de manière à maintenir la communication du dehors en dedans. A mesure que l'eau tombe dans la caisse, elle s'élève dans le bassin et s'écoule par-dessus les bords; tandis que l'air se rassemble dans la cuve entre le fond supérieur et la surface liquide. Pressée par un air plus dense, la colonne d'eau de la cuve s'abaisse au-dessous de la surface d'eau du réservoir, soumise seulement à la pression de l'air atmosphérique. La vitesse du vent dépend donc de la différence des deux niveaux, comme les hauteurs des colonnes d'eau dépendent de l'ouverture de la buse. Et quelle que soit cette ouverture ou la pression de l'air, la quantité d'eau qui s'écoule par-dessus les bords du réservoir est toujours égale à l'eau affluante: elle ne doit point entrer en considération, ce n'est que la différence entre les deux colonnes d'eau qui sert de base au calcul. Il est évident que par ce moyen, le vent doit conserver toujours la même vitesse pour une même ouverture de buse*.

609. Cette disposition est très-commode et très-avantageuse. De grands réservoirs destinés à contenir de 4 à 6 caisses, doivent être construits en maçonnerie, et munis à leurs bords supérieurs de conduits en fer blanc pour l'écoulement de l'eau. Les blocs sur lesquels tombe la colonne d'eau, doivent dépasser le niveau du réservoir; on les ter-

* Si, toutefois, la quantité d'air affluant est constante. Le T.

mine par une surface conique dont la pente est très-douce, et dont le sommet correspond à l'axe des tuyaux; ils reposent, lorsqu'ils sont très-pesans, sur des plates-formes en bois. Les caisses sont construites avec des douves et cerclées en fer, soit parce que ces cuves se confectionnent à peu de frais, soit parce qu'il est facile de les fermer hermétiquement.

Si les caisses n'étaient point placées dans un réservoir, il faudrait donner une grande solidité à leur fond, et faire devant l'orifice d'écoulement une retenue d'eau, dans laquelle le liquide s'éléverait au-dessus du niveau intérieur. Voyez la Pl. I, Fig. 1 : *m* est la retenue d'eau placée devant l'ouverture *n*, et fermée par une vanne *o*. Il est inutile que cette vanne puisse s'ouvrir; il suffit que sa hauteur, qui détermine la différence entre les deux colonnes d'eau, soit telle que cette différence corresponde à la pression qu'on veut donner à l'air. L'eau s'écoule ensuite librement par-dessus les bords de cette digue.

610. On divise les trompes en quatre classes, selon les moyens qu'on emploie pour favoriser l'affluence de l'air dans les *arbres* ou tuyaux; car du reste, leur mécanisme est toujours le même.

D'après la première méthode, on évase les tuyaux à leur extrémité supérieure en forme conique (Fig. 3) de manière que la base du cône soit assez grande pour recevoir l'eau tombant de 10 à 30 pieds de hauteur; la partie évasée doit être large et profonde, pour qu'il ne jaillisse point d'eau par-dessus les bords. On étrangle quelquefois les tuyaux immédiatement au-dessous de l'entonnoir (Fig. 4), afin d'augmenter ensuite la largeur de ces conduits, de faciliter l'écoulement du liquide, et de fermer à l'air le passage dans le sens rétrograde. L'entonnoir se confectionne ordinairement en tôle; la longueur du tuyau, y

compris le cône, est égale à la moitié de la chute totale du courant d'eau. L'air se trouve entraîné par la colonne d'eau qui se meut dans l'air libre, dont elle précipite une certaine quantité dans l'intérieur de la caisse.

611. Pour cette espèce de trompes, l'eau doit tomber d'une hauteur considérable, afin d'entraîner une suffisante quantité d'air atmosphérique. Lorsqu'on ne peut disposer d'une si forte chute, on emploie le moyen suivant : à l'extrémité supérieure de l'arbre, on adapte un entonnoir beaucoup plus large qu'il ne le faudrait pour recevoir l'eau amenée dans un canal avec une grande vitesse ; le remous ou le tournoiement qui en résulte, entraîne de l'air, qui se trouve précipité ensuite dans les tuyaux par le liquide, sans pouvoir en sortir, à cause de l'étranglement *a* pratiqué en dessous de l'entonnoir (Fig. 5).

Ces deux méthodes de construire les trompes, usitées encore dans quelques contrées de l'Italie, sont défectueuses, parce que l'affluence de l'air est sujette à de grandes varations ; on les a remplacées avec avantage par celles que nous allons décrire.

612. Dans la troisième espèce de trompe, employée particulièrement dans les Alpes, l'entonnoir mis en communication avec le courant d'eau, est maintenu plein jusqu'à une certaine hauteur, de manière que l'ouverture qui donne entrée à l'eau soit toujours couverte ; à une petite distance au-dessous, sont des orifices appelés *trompillons*, par lesquels l'air extérieur afflue dans les tuyaux (Fig. 6).

L'expérience a prouvé, dit-on, que, toutes choses égales d'ailleurs, l'effet est plus fort lorsque l'entonnoir pénètre dans l'intérieur des tuyaux, comme on peut le voir dans la Fig. 7. Il est probable que la masse liquide contractée d'abord et répandue ensuite dans un espace plus vaste, provoque une plus forte affluence d'air.

On croit aussi avoir observé qu'on augmente l'effet de ces trompes, en plaçant à l'extrémité inférieure de l'entonnoir un crible, afin de diviser l'eau en beaucoup de filets minces : l'air, mieux mêlé alors à la masse d'eau, est sollicité davantage à descendre, et pénètre dans la caisse en plus grande quantité.

Les trompillons ne peuvent servir du reste qu'à une certaine hauteur; passé ce point, leur effet est nul; et si l'on descend encore, l'air sort, au lieu de se précipiter du dehors au dedans, comme on peut s'en convaincre facilement en examinant la direction de la flamme d'une chandelle présentée à ces ouvertures; dans la partie supérieure elle s'en approche, au milieu elle conserve la direction verticale, et vers le bas, elle est repoussée de l'arbre.

613. La quatrième méthode de construire les trompes, employée sur-tout dans les Pyrénées, consiste en ce que le cône qui termine le tuyau est mis comme précédemment en communication avec le courant d'eau; mais on place un ou deux tubes coniques ou de forme pyramidale, appelés *trompilles* dans l'entonnoir, en les enfonçant au-dessous du point où celui-ci débouche dans le tuyau. Ces trompilles servent de conduits d'air pour remplacer le fluide élastique entraîné par l'eau (Fig. 8).

Enfin on a essayé avec succès de réunir l'une et l'autre manière de faire affluer l'air dans les tuyaux, en se servant à la fois des trompillons et des trompilles (Fig. 9).

614. Quelque simple que soit la construction des trompes, il est difficile d'en évaluer l'effet, parce qu'on n'a aucune donnée positive sur la portion d'air que l'eau peut entraîner avec elle, en tombant d'une certaine hauteur. La quantité de vent que la machine fournit dépend de la chute d'eau ou de la longueur des arbres, de leur dia-

mètre, et probablement aussi de la pression de l'air dans l'intérieur de la cuve. La nature de l'eau exerce aussi une grande influence sur les résultats : en roulant avec impétuosité sur un terrain pierreux, en se précipitant du haut des rochers, elle se charge de plus d'air qu'en s'avançant avec lenteur vers le point de sa chute.

A mesure que les tuyaux seront plus élevés, l'eau recevra plus de vitesse; le courant d'air qu'elle fera naître dans la trompe deviendra plus rapide, et l'affluence de l'air extérieur augmentera dans le même rapport, pour remplacer celui qui est entraîné dans la cuve. La quantité de vent fournie par la machine soufflante dépend donc de la masse d'eau et de la hauteur de sa chute. L'effet s'accroît ensuite selon les moyens qu'on emploie pour conduire l'air dans l'intérieur des arbres et selon le diamètre qu'on donne à ces derniers, eu égard au volume de la colonne d'eau. Trop larges, les tuyaux ne produisent qu'un faible tirage; trop étroits, ils ne peuvent contenir une assez grande quantité d'air.

La résistance que le courant d'air descendant éprouve de la part du fluide élastique comprimé dans la caisse est évidente.

615. Les trompes demandent plus d'eau que les soufflets mis en mouvement par une roue hydraulique. D'un autre côté, elles se présentent avec avantage pour des travaux qui n'exigent pas une forte machine soufflante, et dans les pays où l'on a des chutes d'eau considérables, parce qu'elles sont très-peu dispendieuses sous le rapport de leur construction et de leur entretien. Les froids de l'hiver leur sont très-préjudiciables; cependant il est assez facile d'en garantir les tuyaux, et quant aux caisses, on les met à couvert.

616. Lorsque les porte-vent n'ont pas une longueur considérable, l'air reste chargé d'une grande quantité d'eau, qu'il contient à l'état de mélange. Pour l'en débarrasser, on le fait passer par une espèce de ballon, où le liquide se dépose et d'où il s'écoule ensuite dans la cuve. Quant à l'eau qui est dissoute par l'air, l'expérience a prouvé maintes fois qu'elle ne peut être nuisible à la fusion des minérais.

Lewis croyait pouvoir conclure de ses expériences:

1° Que l'effet des trompes est plus fort lorsqu'au réservoir d'eau aboutissent des tuyaux cylindriques destinés à conduire le liquide dans les arbres, et pourvus chacun à l'une des extrémités d'une vanne, à l'autre d'une boîte percée au fond et sur les faces latérales en forme de crible. La première doit servir à régulariser la chute; la deuxième à diviser l'eau. Les trous *triangulaires* de cette boîte remplaceraient donc les ouvertures pratiquées dans les arbres verticaux.

2° Qu'une chute de 14 pieds est déjà suffisante pour donner au vent une assez forte vitesse; que si l'on dispose d'une chute plus grande, de 18 pieds par exemple, on doit la diviser en deux, recueillir l'eau qui a déjà servi, la faire tomber de nouveau dans les arbres, et l'employer par conséquent une deuxième fois. Cette dernière opinion de l'auteur est établie sur un grand nombre d'expériences.

DES TROMPES AMÉLIORÉES.

617. Dès que l'air précipité dans la cuve vient à éprouver une certaine pression, il réagit sur l'air affluant, et tend à le faire remonter. Bien que cette action soit vaincue par le frottement et l'adhésion exercés par l'eau, il arrive pourtant que cette dernière descend dans la cuve avec une vitesse plus grande que celle du fluide élastique.

La pression de l'air dans la cuve ne dépend donc que du frottement de l'eau contre l'air renfermé dans les tuyaux, et cette pression sera d'autant moindre que les petites masses d'eau seront plus espacées, ou qu'elles laisseront entre elles plus de vides. Il suit de là que le maximum d'effet produit, eu égard à la quantité d'action dépensée, ne pourrait s'obtenir que dans le cas où l'on parviendrait à faire descendre l'eau dans la cuve par lames ou portions isolées, formant pour ainsi dire des plateaux qui pousseraient l'air devant eux et lui fermeraient le passage rétrograde d'une manière absolue.

618. Ce sont probablement ces considérations qui ont conduit aux améliorations suivantes, dues à M. Henschel. Cet auteur a remplacé les arbres verticaux par un tuyau en fonte, courbé en chainette, et dans lequelle se meut librement une chaîne munie de disques espacés l'un de l'autre et partageant le tube de fonte en parties remplies alternativement d'eau et d'air. L'eau affluant sur les disques sert à la fois à boucher tous les joints hermétiquement et à conduire les couches d'air dans la cuve, en donnant le mouvement à la chaîne. Cette machine dont l'effet utile est plus grand que celui des trompes ordinaires, porte le nom de soufflet à chainette ou soufflet à palettes.

La chaîne qui est sans fin, pose sur une roue en fer. Le brin ascendant s'élève dans l'air libre ; l'autre entre dans le tuyau courbé. La cuve qui remplace les cuves ordinaires des trompes se confectionne en fonte, elle est placée dans un bassin d'eau et de manière que les disques de la chaîne, s'enfonçant à une assez grande profondeur, soient encore au-dessous du niveau d'eau, après avoir changé de direction pour prendre le mouvement ascendant. Par cette disposition on prévient les fuites d'air. Les disques se composent de deux parties réunies entre elles par

des charnières. Au mouvement ascendant, chaque demi-disque tournant autour du diamètre commun, par l'effet de la gravité, se trouve suspendu par la charnière et prend une position verticale, la plus avantageuse pour fendre l'eau dans la cuve et pour sortir du liquide. Au mouvement descendant les deux moitiés se rabattent par leur poids autour de la charnière, et ne forment plus qu'un seul plan qui reçoit l'action de l'eau.

Quand on veut mettre la chaîne en mouvement, on ouvre la vanne, l'eau se précipite sur les disques, et remplit une partie de l'espace qui sépare deux disques consécutifs; en sorte que l'autre partie reste remplie d'air atmosphérique. Le fluide élastique n'ayant point d'issue, parce que l'eau les bouche hermétiquement, descend par le jeu de la machine dans la cuve, où il éprouve une pression due à la différence de hauteur qui existe entre la colonne d'eau de la cuve et celle du bassin. Cette différence dépend de la quantité d'air amené et de l'ouverture de la buse.

Quelque simple que soit cette machine, il est difficile cependant d'en calculer les dimensions pour une chute d'eau donnée. Le diamètre du tuyau courbe et par conséquent aussi celui des disques doivent être en rapport direct avec la quantité d'eau dont on dispose et en raison inverse avec la hauteur de chute. Enfin le nombre des disques, ou ce qui revient au même, l'intervalle qui existe entre deux disques consécutifs mérite aussi d'entrer en considération; mais on ne le détermine jusqu'à présent que par l'expérience.

Les soufflets à palettes, dont ni la construction, ni l'entretien nè sont dispendieux, ont été employés avec succès pour plusieurs hauts fourneaux à charbon de bois et pour des feux d'affinerie. Nous avons déjà développé les raisons (617) qui leur méritent la préférence sur les trompes or-

dinaires. Ajoutons toutefois qu'ils ne peuvent fournir un air fortement comprimé. Si l'on avait besoin d'une pression considérable et qu'on disposât d'une grande chûte, il faudrait employer une chaîne longue, lourde, sujette à s'user vite et à se rompre fréquemment.

619. Les disques et la chaîne ne servent qu'à diviser l'eau et l'air, pour les faire arriver dans la cuve par couches alternatives. Si l'on pouvait atteindre ce but, sans employer de chaîne, la machine, simplifiée alors, recevrait un grand perfectionnement. M. Althans s'est proposé ce problème. Son appareil, exécuté en petit, est composé de six tuyaux verticaux, ayant 7 pieds de hauteur, rangés en cercle l'un à côté de l'autre, communiquant avec un entonnoir annulaire et de manière que les surfaces courbes qui séparent deux tuyaux voisins se réunissent à arrête vive. Les tuyaux se rétrécissent vers le bas, selon la forme que prendrait un liquide épais, de l'huile ou du goudron, par exemple, qui serait abandonné à l'action de la pesanteur; ils communiquent ensuite avec une cuve, qui est semblable à celle d'une trompe ordinaire. Au-dessus de l'entonnoir est un vase tournant qui répand l'eau successivement dans les six tuyaux et fait descendre des couches alternatives d'eau et d'air.

Une machine qui a été construite en grand, d'après ce principe, n'a pas présenté des résultats très-avantageux. Il est probable que l'eau se précipitait dans la cuve, sans entraîner tout l'air contenu dans les tuyaux.

DES SOUFFLETS EN CUIR.

620. L'usage des soufflets en cuir est si ancien, que son origine est perdue dans l'antiquité la plus reculée. Des peaux *brutes* d'animaux cousues ensemble, qu'on ouvrait

et qu'on écrasait alternativement, formèrent les premiers soufflets de cette nature. Ils étaient déjà connus du temps d'Homère. Théophraste fait mention de leur emploi; mais on ignore la manière dont ils étaient alors confectionnés. On ne peut douter que les Romains ne s'en soient servis dans leurs travaux métallurgiques, quoique leurs procédés nous restent inconnus.

621. On ignore aussi l'époque où l'on commença d'employer des peaux tannées et assujetties à des plans inflexibles pour faciliter leur mouvement. Les plus anciennes machines de ce genre qui nous soient connues, sont composées de deux disques en bois *a*, *b*, (Pl. I, Fig. 10), enveloppés de cuir et présentant la forme d'un tronc de cône ou d'un cylindre. Des cerceaux en bois interposés entre les bases, dont pourtant ils ne gênaient pas le mouvement, assuraient la régularité des plis. Le plan *a* portait une soupape *o*, l'autre était percé d'un orifice correspondant à une buse confectionnée en tôle. La soupape se composait d'une ouverture ou ame et d'un clapet de cuir ou de bois léger, fixé au disque par une charnière en cuir et garni en dehors de peau d'agneau. A l'aide d'une anse *m*, on poussait le cercle *a* contre le plan *b*, pour comprimer l'air et le chasser par la buse. La soupape se fermait alors et elle se rouvrait par le mouvement inverse.

Ces soufflets étaient mus à bras d'homme; un ouvrier en manœuvrait deux à la fois. Leur usage était encore très-répandu au temps d'Agricola; mais on ne les employait que pour le traitement des métaux fusibles.

622. Le soufflet de cuir usité aujourd'hui est généralement connu (Pl. I, Fig. 11): il se compose de deux plateaux en bois *a* et *b*, assujettis par un côté, à une pièce de bois *c* appelée *têtière*, et de façon que l'un des deux puisse

se mouvoir vers l'autre, ou que tous les deux soient mobiles. Pour l'ordinaire, le plan inférieur *a* est fixé invariablement à la têtière *c*, qui, dans les petits soufflets à main, ne forme avec lui qu'une seule pièce. Les deux plans sont réunis par un cuir attaché avec des clous dont la tête s'appuie sur des lanières; ils sont presque toujours confectionnés en bois de saule. Le plateau inférieur du soufflet porte la soupape à clapet *v*, faite en cuir ou en bois léger, et garnie de laine sur son pourtour, espèce de soupape qui d'ailleurs est commune à tous les soufflets pyramidaux. La têtière est percée d'un trou qui conduit l'air dans la buse.

Les parois de cuir se développent quand on éloigne les plateaux l'un de l'autre; elles se plissent quand on rapproche les deux surfaces. Par le dernier de ces mouvemens, la soupape se ferme, l'air contenu dans le soufflet se comprime et s'échappe par la buse; par le premier l'ame s'ouvre, l'air atmosphérique se précipite dans l'intérieur de la machine pour remplir le vide et rétablir l'équilibre.

C'est à l'aide des poignées *m*, *m*, adaptées aux deux plans des soufflets à main, qu'on les fait agir avec plus de facilité. Dans les gros soufflets, la force motrice est appliquée au plateau supérieur. On peut d'autant mieux rapprocher les deux plans, et l'air recueilli est d'autant plus complètement expulsé, que la têtière est plus mince.

623. Ce n'est que dans les petits soufflets à main, ou dans les gros soufflets dont le mouvement d'oscillation très-rapide, d'ailleurs, n'a qu'une faible amplitude, que le cuir peut s'écraser en plis irréguliers; mais dans les soufflets qui ont de fortes dimensions et dont le mouvement s'exécute avec lenteur, on doit régulariser les plis; la roideur du cuir entraverait le jeu de la machine. On interpose, pour cet effet, entre les plateaux des cadres fixés à la têtière par des charnières, qui leur permettent le mou-

vement d'oscillation; ces cadres, ainsi que les deux plans, sont ensuite enveloppés de cuir. Cette construction est cependant employée rarement pour les soufflets des usines; car dans ceux même qui servent aux essais des minérais, le cuir est tendu seulement sur des cerceaux qui ne sont point liés à la têtière.

624. Quoique la forme des soufflets en cuir soit assez indifférente, et que les plateaux puissent recevoir la figure d'un carré, aussi bien que celle d'un trapèze, on préfère presque toujours la dernière, parce qu'elle semble plus commode dans son emploi. Il existe aussi une toute autre espèce de soufflets de cuir, presentant l'aspect d'un cylindre, et dont la base se meut contre le plan supérieur à la façon des soufflets à piston. On les trouve exécutés à Vaux, près de Liége, où deux soufflets semblables activent un feu de chaufferie alimenté avec de la houille.

En examinant le jeu de ces machines, on voit d'abord que le vent ne peut être continu; quand on écarte les plateaux, l'air devant entrer dans le vide intérieur, ne peut en sortir: il y pénétrerait même par la buse, si la soupape n'était ni assez légère, ni assez grande pour s'ouvrir instantanément et offrir un large passage. On pourrait croire que dans tous les cas il devrait affluer par ce tuyau, puisqu'il y trouve moins de résistance, n'ayant point de clapet à soulever; cependant, il n'en est pas tout-à-fait ainsi; placée dans la tuyère, la buse est environnée d'un air chaud et bien moins dense que celui qui agit sur la soupape; d'un autre côté, il reste dans le soufflet une partie d'air comprimé, qui s'oppose aussi dans le premier moment à l'affluence de l'air dilaté.

L'interruption du jet d'air est un grave inconvénient; elle oblige le métallurgiste à employer deux soufflets dont l'un s'ouvre pendant que l'autre se ferme. La complication

de ce système de machines pour les petites forges, et l'espace qu'exige son emplacement, ont fait inventer le soufflet double ou *le soufflet de maréchal*, qui sert aussi dans les usines pour les feux de chaufferie, et qui, lorsqu'il est bien construit, remplit son objet, en produisant une expiration continue.

625. Le soufflet de maréchal est réellement composé de deux soufflets simples A et B (Pl. I, Fig. 13). Le compartiment A, placé en-dessous, aspire l'air atmosphérique par la soupape v, qui s'ouvre quand on abaisse le plan inférieur, et qui se ferme lorsqu'on ramène ce plan vers le diaphragme ab. L'air comprimé passe par la soupape x, de A en B, remplit l'espace B, où il éprouve une certaine pression au moyen des poids dont on charge le plan supérieur; de sorte qu'il est forcé de s'échapper par la buse. Ainsi le soufflet inférieur ne communique pas avec l'orifice de la têtière. Le plan intermédiaire ab, qui sert de fond à l'un des soufflets et de couvercle à l'autre, est immobile. La force motrice s'applique au plateau inférieur.

La pression du fluide dépend donc autant de la charge du soufflet A, que de l'ouverture de la buse et de la quantité d'air affluant par la soupape x; mais il faut que les poids qui le forcent à s'échapper avec plus ou moins de vélocité, soient en rapport avec la vitesse moyenne qu'on veut donner au vent. Une trop forte charge empêcherait le soufflet B de se dilater; de façon que l'air ne ferait qu'entrer par la soupape x, pour sortir par la têtière. Si elle était trop faible, on perdrait du vent et le jet ne serait pas uniforme.

Si donc on veut obtenir plus de vitesse, il faut augmenter la charge du plateau supérieur sans changer la bouche de la buse; mais en dépassant certaines limites, on aurait d'abord un courant d'air très-rapide, suivi dans le second

instant d'une interruption totale. En un mot, l'espace supérieur B ne doit servir qu'à régulariser le jet d'air, qu'à empêcher le vent de sortir par la buse avec l'impétuosité qu'il aurait, si du soufflet inférieur il passait immédiatement dans l'orifice de la têtière.

626. Le soufflet double est solidement établi sur trois points fixes, dont l'un soutient la têtière, et les deux autres le diaphragme *ab*. La manière de le mettre en mouvement est très-simple: le plan inférieur est soulevé à l'aide d'une tringle et d'une branloire; un poids suspendu à ce plan le fait descendre. Souvent aussi on emploie pour cet effet des roues hydrauliques; quelquefois aussi des manèges ou des roues dans lesquelles on fait marcher des animaux, etc., etc.; et l'on transmet le mouvement par des manivelles, des roues dentées ou des cammes, etc.

627. Le rapport entre la capacité des deux compartimens A et B, n'est point indifférent pour l'effet qu'on veut obtenir. Le soufflet supérieur doit être au moins aussi grand que l'autre, mais ordinairement il l'est davantage; à mesure qu'on le diminue, le jet d'air devient plus inégal.

L'effet est le plus petit, lorsque le plan inférieur s'écarte du diaphragme, ou lorsque la soupape x se ferme; mais aussitôt que la soupape x s'ouvre, le fluide qui s'y précipite soulève le plan supérieur, et l'effet est augmenté. Dans le premier instant, le soufflet ne donne point de vent, parce que le compartiment A doit se remplir d'abord, l'expiration commence ensuite et devient continue, si ce compartiment n'a pas une trop faible capacité.

628. Les soufflets de cuir ont sur les autres l'avantage de se mouvoir avec beaucoup de facilité. Mais à cause de la grande masse d'air qui reste dans leur intérieur, lors-

qu'ils sont écrasés, ils produisent peu d'effet, à moins que leurs dimensions ne soient très-grandes, et alors ils deviennent dispendieux. On frotte le cuir avec des corps gras, pour le conserver et lui donner plus de souplesse; sa roideur entrave le mouvement, et augmente, par la grosseur des plis, l'espace qui, lorsque les deux plans sont le plus rapprochés qu'il est possible, reste rempli d'air.

On doit avoir soin que les soupapes soient légères, très-mobiles, et que fermées, elles ne donnent aucune issue à l'air. Il faut une main exercée pour fixer le cuir à la tête du soufflet, si pour diminuer l'espace nuisible, on veut donner une faible épaisseur à la têtière.

Il est bien entendu que le cuir doit être compacte, et parfaitement joint aux plateaux.

629. On a proposé un soufflet triple. Les compartimens A et B (Fig. 14), aspirent l'air et le versent dans la partie supérieure C, d'où il s'échappe par la buse dans le foyer. Le soufflet A puise l'air par la soupape *a*, et le verse par la soupape *c*, dans l'espace C, lorsque le diaphragme *ii*, appartenant aussi au soufflet B, vient à s'abaisser. Le soufflet B aspire l'air atmosphérique par la soupape *b*, qui s'ouvre quand on écrase le soufflet inférieur A, et il se vide par la soupape *d* dans le compartiment supérieur C, lorsque le plan *ii* remonte.

La soupape *b*, se trouvant placée dans l'espace que l'air comprimé venant de A traverse pour se rendre en C, doit être adaptée à l'extrémité d'un tuyau communiquant avec le soufflet B; et afin que B ne puisse aspirer l'air venant de A, il faut donner à A une soupape d'expiration en *m*, et à B une soupape d'inspiration en *n*, mais l'auteur n'en parle point. Du reste en examinant la machine avec attention, on sera convaincu qu'un soufflet de maréchal du même volume produira plus d'effet, sera mis en mouve-

ment avec plus de facilité, et devra lui être préféré sous tous les rapports. La force motrice est appliquée au diaphragme *ii*, les deux plans *ss* et *tt* sont immobiles. On voit à l'inspection de la figure, que le soufflet A s'ouvre lorsque B se comprime et *vice versâ*. Le compartiment supérieur C est analogue à celui du soufflet de maréchal, sauf sa capacité qui doit être proportionnée à celle de A et de B.

630. On doit à M. Rabier un soufflet à trois compartimens, meilleur que le précédent. Il se compose, comme l'autre, d'un soufflet à double effet, et d'un réservoir ou régulateur, Pl I, Fig. 15, 16, 17, 18 et 19. Les deux compartimens inférieurs X et Y puisent l'air par quatre soupapes *k*, *k*, *m*, *m*, et le versent par les trois soupapes *b*, *c*, et *c* dans le réservoir Z, d'où il se rend dans la buse. Les deux plateaux B et D sont fixes; le diaphragme C est mobile; le plan supérieur A se trouve chargé d'un poids. Ces différens plateaux sont tous assujettis à la têtière N. Les ouvertures des soupapes *m*, *m*, qui sont pratiquées dans l'épaisseur du bois, donnent entrée à l'air extérieur dans le soufflet Y. La soupape *b* ouvre ou ferme un tuyau en cuir *d* qui établit la communication du soufflet X avec le réservoir Z.

Cela posé, on conçoit facilement le mécanisme de cette machine; si le diaphragme C se rapproche du plateau B, les deux soupapes *k*, *k*, s'ouvrent, et le soufflet X se remplit d'air; pendant ce mouvement le soufflet Y se vide, les soupapes *c*, *c* s'ouvrent, et les soupapes *m*, *m* se ferment ainsi que *b*. Si par l'effet d'un contre-poids, le diaphragme C descend, les soupapes qui étaient ouvertes se ferment, et celles qui étaient fermées s'ouvrent; le soufflet X se vide et Y se remplit d'air atmosphérique*.

* Le soufflet Rabier a sur un soufflet de maréchal, assez grand pour

631. L'invention des soufflets de bois a banni les soufflets de cuir des hauts fourneaux et des feux d'affinerie; pour produire le même effet que les premiers, les soufflets en cuir devraient avoir de grandes dimensions, et alors leur construction et leur entretien seraient trop dispendieux. L'effet qu'ils produisent est très-faible, parce qu'on ne peut rapprocher assez leurs plateaux, et que dans les plis il reste une trop grande partie d'air comprimé. Cependant on fait usage du soufflet de maréchal pour activer des feux de chaufferie : il occupe peu de place, il est facile à mettre en mouvement et il donne assez d'air pour les petites chaudes, qui ne demandent pas un très-haut degré de chaleur.

DES SOUFFLETS DE BOIS.

632. Le soufflet de bois*, employé pour la première fois dans le Harz, en 1620, est composé de deux parties : d'une caisse pyramidale appelée *volant* et d'une caisse très-plate qu'on nomme le *gîte*. La première est liée à celle-ci par la partie la plus étroite, de manière à pouvoir s'en rapprocher ou s'en écarter en tournant autour d'un axe. Toutes les faces du volant sont planes, hormis celle de derrière, qui reçoit une forme circulaire ou plutôt cylindrique, dont le rayon est égal à la distance de l'axe fixe à l'autre extrémité du gîte; elle s'appelle *culeton*.

633. Le mécanisme des soufflets de bois consiste donc

---

fournir dans un temps donné le même volume d'air, l'avantage de donner un vent plus égal et d'occuper bien moins de place, mais il paraît qu'il exige plus de force motrice. Le T.

* C'est ainsi qu'on appelle communément le soufflet en bois et à charnière; les autres sont des soufflets à piston. Le T.

en ce que la caisse mobile, en s'approchant ou en s'écartant du gîte, forme avec ce dernier un espace limité, d'une grandeur variable, et rempli, lorsqu'elle est au plus haut point de sa course, d'air atmosphérique qui est exprimé ensuite par un orifice dans le mouvement descendant. A cet orifice correspond la buse, qui est adaptée au gîte, afin qu'on puisse lui donner une position invariable, ce qui ne serait pas aussi facile, si on l'assujétissait à la caisse mobile; le gîte porte aussi une soupape légère garnie de laine. Le clapet, qui est pourvu d'un contre-poids, afin que l'air atmosphérique puisse le soulever plus facilement, se meut autour d'une charnière de cuir ou de métal: pour empêcher qu'il ne se renverse, on peut, ou le faire toucher contre un ressort, ou l'attacher avec une lanière d'une longueur déterminée. Il est de la plus haute importance que les soupapes soient légères, très-grandes et qu'elles ferment hermétiquement*.

634. Les soufflets de bois produiraient le plus grand effet, si le gîte, au lieu d'avoir la forme d'une caisse, était une surface plane dont les côtés joignissent parfaitement aux parois du volant, et qui pût s'appliquer contre le plan supérieur de la caisse mobile pendant le jeu de la machine. Mais on ne peut réduire le gîte à ne former qu'une surface plane, soit parce qu'il porte la têtière qui fait corps avec

* Il est surtout très-essentiel que le clapet ne recouvre pas trop fortement, c'est-à-dire, que sa surface soit la plus petite possible, eu égard à l'ouverture qu'il doit fermer : car la pression intérieure agit sur la soupape en raison de la surface du clapet; tandis que la pression extérieure, qui pendant le jeu de la machine, doit vaincre la première, est proportionnelle à l'aire de l'ouverture. C'est particulièrement dans la construction du soufflet double, dit de maréchal, et dans celle du soufflet Rabier, qu'il importe de ne pas négliger cette considération.

Le T.

lui, soit à cause des moyens qu'on emploie pour fermer le passage à l'air.

Quelle que fût la précision avec laquelle on confectionnerait l'une et l'autre caisse, il serait impossible d'empêcher la sortie de l'air, que pourrait occasionner d'ailleurs le plus petit choc qui pousserait le volant hors de sa direction. On applique donc sur le bord du gîte des liteaux en bois, qui, à l'aide de ressorts d'acier *, sont pressés contre les parois de la caisse mobile et ferment le passage au vent (Fig. 21, 23 et 27); *x* sont les liteaux, *z* les ressorts qui les poussent en dehors, *y* des crochets en fer ou des mentonnets en bois, qui les empêchent d'être enlevés par le volant; *m* de doubles crampons enfoncés dans les liteaux, et qui retiendraient ces derniers en s'appuyant contre une fiche plantée dans le gîte, si les ressorts tendaient à trop les déplacer **. Ceux-ci portent à l'un de leurs bouts une pointe qui sert à les fixer dans le gîte ***. D'autres ressorts *l* attachés aux liteaux, près de leurs jointures (lorsqu'ils sont composés de plusieurs pièces), les forcent de s'écarter et les poussent dans les angles.

Il est très-important que les liteaux soient confectionnés avec beaucoup de précision, et que leurs surfaces extérieures soient très-lisses, afin qu'ils puissent empêcher la sortie de l'air sans trop augmenter le frottement. A cet effet, on enveloppe la partie frottante avec du cuir qui cependant s'use trop promptement. On les entaille à mi-bois, pour qu'ils puissent se recouvrir dans leurs jointures.

---

* Ils sont ordinairement en fer qui, par le martelage à froid, reçoit de l'élasticité. Le T.

** Ces doubles crampons sont inutiles; il suffit que les faces latérales et le culeton aient une hauteur convenable pour dépasser encore le plan du gîte, lorsque le volant est au plus haut point de sa course. Le T.

*** On se sert aussi de doubles ressorts fixés dans le gîte par leur milieu. Le T.

635. Ne pouvant donc substituer une surface plane à la caisse inférieure, on doit obvier, autant qu'il est possible, aux inconvéniens de ce système, en remplissant avec du bois les vides inutiles, afin de ne conserver que les creux indispensablement nécessaires à l'air qui doit se rendre dans la buse, ainsi qu'au jeu des ressorts et de la soupape. Il restera, malgré cela, entre le gîte et le plan supérieur du volant, un espace assez considérable, qui se remplira d'air condensé et qui portera préjudice à l'effet de la machine.

636. Le volant et le gîte doivent être construits en madriers très-secs de 3 à 4 pouces d'épaisseur. Les joints sont à tenons et à mortaises, chevillés ou simplement à rainure; mais dans ce dernier cas, les madriers doivent être traversés par des boulons à écrous, afin qu'on puisse les serrer davantage en cas de besoin. Cette manière de consolider les joints est plus avantageuse que l'autre, parce qu'elle offre à l'ouvrier de la facilité pour remplacer les madriers qui se déjettent, et pour resserrer ceux qui, en se desséchant, ont pris un retrait considérable.

Le volant est d'ordinaire en bois tendre: on doit employer le pin de préférence; mais le gîte et surtout les liteaux doivent être confectionnés en bois durs.

637. Il faut que le mouvement de la caisse supérieure soit facile et que l'air n'y trouve point d'issue aux *bajoues :* c'est ainsi qu'on appelle la partie des deux faces latérales où elles sont assujetties à la têtière.

Les faces latérales du volant sont prolongées ordinairement en forme d'ailes; c'est dans cette partie qu'on pratique un encastrement ou plutôt des boîtes en fer, destinées à recevoir un boulon qui, traversant la têtière, constitue l'axe d'oscillation : *a* (Fig. 22) est le prolongement dont il s'agit (la bajoue); *b* la boîte et *c* le boulon. Ce

dernier se place au-dessus de la têtière, ou du moins il la traverse au-dessus de l'ouverture correspondant à la buse (Fig. 20); il est retenu dans les bajoues, d'un côté par une tête ronde et de l'autre par une simple clavette ou par un écrou. Le plus souvent il s'y trouve fixé d'une manière invariable et s'enlève avec la caisse supérieure. Il tourne dans la têtière sur une empoise de fer polie au tour. Pour l'assujétir au gîte, on se sert de deux oreilles ou de deux mailles qui traversent la têtière, et sont retenues sous le gîte par des clefs ou des écrous, qu'on retire lorsqu'on veut démonter le soufflet; l'ensemble de ces pièces s'appelle la *fermeture*.

Il est essentiel, pour la facilité du mouvement de la machine, que le boulon, l'empoise et les oreilles ou mailles, soient confectionnés avec un certain degré d'exactitude.

Pour empêcher que l'air ne s'échappe aux points de jonction, on ajuste au volant un pièce de bois *p*, (Fig. 20), dont la forme est cylindrique, comme celle du culeton, et qui s'enfonce dans un logement pratiqué dans la têtière; cette pièce forme le quatrième côté du volant, elle frotte contre les liteaux du gîte comme les autres parois de la caisse supérieure.

638. Si le boulon est mal confectionné, s'il tourne dans un encastrement en bois ou dans une mauvaise empoise, il éprouve beaucoup de frottement. Pour y remédier, on le rend, depuis quelque temps, immobile, et l'on ajuste dans les côtés du volant des crapaudines en métal, qui se meuvent alors autour de cet axe fixe; on y pratique une fente pour y introduire la graisse.

639. L'entretien des soufflets de bois demande beaucoup de soin. On visite de temps à autre l'intérieur des caisses, on enlève la poussière et toutes les impuretés, on examine

les liteaux, on les graisse (la meilleure graisse qu'on puisse employer est le suif); on graisse les ressorts avec de l'huile, on remplace ceux qui sont endommagés, et l'on porte une grande attention sur les soupapes, qui doivent se mouvoir avec la plus grande facilité, sans offrir aucune sortie à l'air.

640. Il serait inutile de parler du jeu des soufflets. Pour ce qui est de l'espace nuisible, nous avons déjà remarqué qu'il ne peut disparaître entièrement. La pression de l'air dépend, soit de l'ouverture de la buse, soit de la vitesse communiquée au volant, et par conséquent du nombre d'oscillations fourni dans un temps donné. Il est évident qu'avec le soufflet de bois, on ne peut obtenir un jet d'air continu. Il faut donc employer, dans les opérations métallurgiques deux soufflets, dont le volant de l'un remonte lorsque l'autre s'abaisse. Au reste, le mouvement est ordonné de manière que l'un commence à refouler l'air avant que l'autre soit entièrement vide; c'est pour cette raison que le volant diminue de vitesse vers la fin de sa course; car au premier instant de la compression de l'air, on n'obtient point de vent : le jet serait donc interrompu sans cette disposition, qui, d'ailleurs est superflue pour les machines soufflantes à régulateur. Elle est superflue aussi, lorsque trois soufflets versent leur vent dans une même tuyère; parce qu'il s'en trouve toujours au moins un qui est au milieu de la course descendante.

641. Il serait possible qu'en s'ouvrant, l'un des soufflets aspirât par la buse une certaine quantité de l'air expiré par l'autre; ce qui serait très-préjudiciable, non-seulement parce qu'il en résulterait une perte de vent, mais aussi parce que le fluide pourrait entraîner dans l'intérieur de la caisse du laitier ou du charbon incandescent. Il est donc avantageux d'adapter à la têtière une soupape d'expiration, qui puisse empêcher l'air de refluer par la buse.

642. Les soufflets reposent sur un échafaudage dont la hauteur et la construction dépendent du mode qu'on suit pour communiquer le mouvement au volant. De quelque façon qu'ils soient placés sur les poteaux, il est essentiel qu'ils ne penchent d'aucun côté et qu'ils jouissent de la plus grande stabilité.

La têtière est souvent assujétie dans un bloc de bois, à l'aide de coins, afin que la buse ne puisse éprouver aucune déviation. Le *pied* des soufflets qui fait corps avec le gîte, entre dans des poutrelles par tenons et mortaises.

643. La force qui agit sur le volant doit l'abaisser au lieu de le soulever : elle peut y être appliquée immédiatement ou médiatement. Dans le premier cas, on emploie le plus souvent des cammes, qui pressent sur le plan supérieur ou sur des pièces de bois de différentes formes liées à la caisse. On peut aussi faire mouvoir le volant à l'aide de manivelles ou de roues dentées.

Il existe tant de moyens d'employer la force de l'eau, de la vapeur ou des animaux, pour la faire agir sur un point donné; on peut combiner ces moyens de tant de manières différentes, qu'une semblable énumération ne pourrait être qu'imparfaite et superflue. La chose essentielle, c'est de choisir pour chaque cas particulier, le mécanisme le plus simple, afin de diminuer le frottement autant qu'il est possible: les roulettes produisent un bon effet si le mouvement est lent et que la pression soit faible, dans le cas contraire, elles sont plus nuisibles qu'utiles. Enfin il faut substituer par-tout le fer au bois dans les parties de machine qui éprouvent des frottemens.

644. La caisse doit être soulevée après le mouvement descendant; pour cet effet, on l'assujétit à des balanciers chargés de contre-poids, ou à des ressorts en bois; ce sont

de simples perches, qui agissent par leur élasticité. Une méthode vicieuse, qui est devenue très-rare aujourd'hui, consiste à suspendre les deux volans aux extrémités d'un levier à deux branches; de sorte que l'un des soufflets remonte par le mouvement du balancier, quand l'autre s'abaisse en obéissant à l'action de la force motrice. Cette disposition est vicieuse en ce que les volans se trouvent sollicités par une force oblique, et que leur mouvement descendant ne peut jamais être simultané *.

Le contre-poids étant une charge pour la machine, ne doit pas être trop grand. Si d'ailleurs on fait remonter la caisse avec impétuosité, la soupape ne peut s'ouvrir convenablement, et le soufflet se remplit d'un air dont la densité n'est pas égale à celle de l'air atmosphérique. L'excès contraire présente le même inconvénient; c'est donc par des essais et des tâtonnemens qu'on doit s'assurer de la puissance qu'il faut donner à ces contre-poids.

645. Les soufflets trapézoïdaux sont plus usités que les soufflets de forme carrée et à charnière, sans doute parce qu'ils entrent plus facilement dans l'embrâsure de la tuyère.

646. On croyait anciennement que pour obtenir un succès complet dans le traitement des minérais et l'affinage de la fonte, il fallait de toute nécessité avoir deux buses dans la tuyère. Depuis qu'en secouant ce préjugé, on s'est

---

* En France, où cette manière de soulever les volans est encore fréquemment employée, on remédie aux inconvéniens signalés par M. Karsten, 1° en fixant aux extrémités du balancier, des arcs de cercle pourvus chacun d'une chaîne, qui s'applique sur la courbe et soulève le volant sans altérer la direction; 2° en suspendant le balancier à un ressort de bois qui, en vertu de son élasticité, permet un abaissement simultané des deux caisses mobiles. Cependant ces moyens sont toujours vicieux, et ne peuvent s'employer pour les grands soufflets. Le T.

convaincu que l'emploi d'une seule buse était plus commode et qu'elle entraînait une moindre perte d'air, on a commencé aussi, pour les soufflets à charnière, de réunir leur vent dans un réservoir commun, d'où il se rend par une seule buse dans la tuyère; des soupapes d'expiration deviennent alors indispensables. Dans ce cas, la longueur des porte-vents est plutôt avantageuse que nuisible, si toutefois ils ont un assez grand diamètre; parce qu'ils font partie du réservoir commun, dont ils augmentent la capacité. Cette longueur serait préjudiciable, si la soupape d'expiration, au lieu d'être adaptée immédiatement au soufflet, l'était à l'embouchure de ces tuyaux dans le réservoir: les efforts du constructeur doivent toujours tendre à diminuer l'espace nuisible.

La buse est assujétie au porte-vent du réservoir, à l'aide d'une peau attachée à l'un et à l'autre de ces conduits, par des anneaux en fer qu'on peut resserrer avec des vis. De cette manière on la dirige commodément, ce qui n'a pas lieu lorsqu'elle est fixée à la têtière des soufflets. Pour les feux d'affinerie, on désire qu'elle exerce une pression sur le plat de la tuyère, afin que celle-ci soit mieux consolidée et qu'elle puisse résister davantage au choc du ringard: on produit cet effet en la plaçant dans une pièce de bois qui est semblable à une têtière, et qui, dans l'embrâsure des soufflets peut recevoir une position très-stable.

647. On trouve encore beaucoup de hauts fourneaux activés par trois ou quatre soufflets à charnière, qui versent leur vent dans un réservoir commun. Cependant, on commence d'abandonner ces machines soufflantes: 1° parce qu'elles occupent beaucoup de place dans l'usine, lorsqu'elles doivent fournir une grande quantité d'air; 2° parce que leur frottement est considérable; 3° parce qu'elles sont plus dispendieuses dans leur construction et

leur entretien que les soufflets à piston; 4° enfin, parce qu'elles donnent moins de vent, à cause de l'espace nuisible qui est toujours très-grand, lors même que le volant atteint le point le plus bas de sa course.

Remarquons, toutefois, que les soufflets de bois ont produit une amélioration sensible dans les travaux métallurgiques, et que la sidérurgie leur doit une grande partie de ses progrès; mais aujourd'hui ils devraient être remplacés par les soufflets à piston.

648. Il existe une espèce de soufflet de bois en forme de coin dont la caisse inférieure, réduite à un plateau, est mobile autour d'une charnière. On l'empoie fréquemment en Suède, où il porte le nom de son inventeur Widholm. Il n'a pas besoin de contre-poids; le plateau, pressé contre le fond de la caisse fixe, redescend par l'effet de sa propre pesanteur. Ce plateau a la forme d'un parallélogramme, au lieu d'être un trapèze, comme dans le soufflet pyramidal. Il est mis en communication avec les cammes de la roue hydraulique au moyen d'une tige en fer *a* (Fig. 35, 36). Eu égard à l'immobilité de la caisse, on peut accoler plusieurs soufflets de cette espèce, de manière que leurs faces latérales et voisines soient communes. La soupape d'aspiration *b* est adaptée au plateau, la soupape d'expiration *c* l'est à la caisse. On réunit l'air fourni par plusieurs soufflets dans un réservoir commun *m*, mis en communication avec la buse par les porte-vent *n*. Le plateau est muni de liteaux, comme le gîte d'un soufflet de bois pyramidal.

Ainsi les caisses d'un pareil système de soufflets ne sont réellement que les compartimens d'une grande caisse composée de forts madriers, ayant trois à quatre pouces d'épaisseur, réunis ensemble soit à joints plats, soit à rainures, et consolidés par des boulons taraudés (635). La fermeture *f* se compose d'un boulon en fer forgé, qui traverse l'en-

semble des caisses, et d'un système de boîtes qui, vissées aux plateaux, se meuvent autour de ce boulon. La pièce *i* adaptée à la caisse supérieure, pour empêcher la sortie de l'air sur le devant, entre dans un logement pratiqué dans le plateau, et se trouve pressée par des liteaux comme les autres parois de la caisse. Ces parois intérieures sont recouvertes d'une couche de peinture composée de 10 parties de graphite et de 1 partie de colle forte, mises en ébullition avec un peu d'huile de thérébenthine: on emploie cette composition à chaud.

On place le soufflet de manière que le plateau se trouve dans une position horizontale, lorsqu'il a terminé la moitié de sa course, et qu'à la fin ainsi qu'au commencement de sa course la tige descende verticalement. Cette tige se trouve le plus souvent à l'extrémité opposée de la fermeture; tandis qu'elle devrait être placée au centre de gravité du plan.

Bien que les soufflets de Widholm soient préférables aux soufflets pyramidaux, ils sont pourtant moins avantageux et plus embarrassans que les soufflets à piston dont nous allons parler.

DES SOUFFLETS A PISTON.

649. Dans les soufflets de bois qui ont été inventés d'abord, le mouvement se fait autour d'un axe. Plus tard, on eut l'idée de détacher la caisse du plateau et de remplacer le mouvement angulaire par un mouvement de translation. On parvint de cette manière à mieux empêcher les pertes d'air, à diminuer les frottemens, à éviter celui qu'occasionnait la charnière. Le plan mobile, qui s'appelle piston, porte les soupapes d'aspiration; celle de l'expiration est adaptée au fond de la caisse, elle est ou conique ou à clapet. Lorsqu'on fait usage des soupapes coniques,

il faut que le cône et sa boîte soient travaillés sur le tour avec précision ; l'axe du premier traverse deux étriers placés en dessus et en dessous (Pl. II, Fig. 1), afin qu'il soit maintenu toujours dans une direction constante et que la soupape ne puisse pas trop s'ouvrir.

650. Les soufflets à piston peuvent être carrés ou cylindriques ; cependant, on n'appelle machine soufflante cylindrique que celle dont les cylindres sont en fonte. Les caisses sont confectionnées le plus souvent en fortes planches : près de Namur, on en trouve qui sont de marbre ; en Russie, on les double souvent avec des plaques de fonte ou de plomb.

Le procédé qu'on suit généralement pour fermer le passage à l'air, est le même que pour les soufflets à charnière, et il demande encore de grandes améliorations ; parce que les liteaux ne peuvent joindre assez bien aux parois de la caisse, qu'ils laissent toujours échapper une certaine quantité de vent et qu'ils produisent un frottement considérable : on ferait bien de les remplacer par le cuir rembourré de laine, dont on fait usage pour les machines soufflantes en fonte.

On garnit le plateau mobile avec du bois, comme le gîte des soufflets à charnière, afin de diminuer l'espace nuisible. Les liteaux, les ressorts et les soupapes doivent être visités et nettoyés fréquemment.

La tige du piston est assujettie au plateau par une barre de fer, qui porte un écrou à l'une de ses extrémités et qui, percée de plusieurs trous, est fixée dans la tige par des boulons à bouts taraudés (Pl. II, Fig. 2 et 3) : *a* est la tige assujettie au plateau mobile par la barre de fer ; *b* sont des jambettes qui servent à consolider le système ; *i*, *i* les soupapes pour l'aspiration de l'air ; *x*, *x* les liteaux qui reposent sur le piston, et qui sont pressés par des ressorts contre les parois de la caisse.

L'usage des soufflets à piston et en bois devient de jour en jour plus général. Leur emploi serait très-avantageux, si l'on parvenait à améliorer leur construction, quant aux moyens qu'on pratique pour empêcher l'air de sortir entre le plateau mobile et les parois de la caisse. La forme cylindrique pour les soufflets en bois est assez rare, parce que les caisses carrées se confectionnent avec plus de précision et de facilité.

651. Voici encore quelques observations sur la construction des soufflets à piston. Les clapets des soupapes doivent être solides bien que légers; ils recouvrent le bois de 2 centimètres; on y colle du cuir à la jusée qui les dépasse d'un côté, afin qu'on puisse le clouer sur le plateau, après avoir bordé ce dernier de cuir en poil sur tout le pourtour de l'ouverture. Les liteaux se font avec de bon bois de hètre ou bien avec tout autre bois dur dont la fibre soit serrée.

La caisse (Fig. 3) est confectionnée avec des madriers de pin, ayant deux pouces d'épaisseur; mais on a soin de les dédoubler par un trait de scie, de retourner ensuite l'une des deux moitiés contre l'autre et de les coller ensemble, c'est le meilleur moyen d'empêcher qu'ils ne se déjettent. L'intérieur de la caisse est doublé en bois de peuplier, de tilleul ou d'aune, et de manière qu'à l'intérieur les fibres du bois soient verticales, et qu'à l'extérieur elles soient horizontales. (Voyez la Fig. 3), *i*, *i* sont des liteaux encastrés dans la caisse et qui s'appuyant contre des poutres, servent avec ces derniers à la maintenir dans une position invariable. Il est essentiel que la caisse d'air M (Pl. II, Fig. 5), qui reçoit le vent de tous les soufflets, s'ajuste parfaitement au fond des caisses. Pour fermer toutes les issues on emploie des lanières de cuir en laine courte. Les clapets des soupapes d'expiration ne doivent

recouvrir le bois que de 7 à 8 millimètres au plus, parce qu'ils sont chargés d'un air comprimé, dont la résistance doit être vaincue par l'air du soufflet. Si ces clapets étaient trop lourds ou s'ils se levaient trop difficilement, on les verrait trembloter, on consommerait une trop grande quantité de force motrice, et le vent deviendrait irrégulier. La lanière, clouée par un des bouts sur la caisse et par l'autre sur le devant du clapet, a pour but d'empêcher ce dernier non-seulement de se renverser, mais aussi de s'ouvrir inégalement : la caisse d'air doit être construite de manière qu'on puisse enlever facilement une ou plusieurs pièces N pour visiter les soupapes.

652. Tous les soufflets en bois ont du reste le défaut d'éprouver un frottement considérable, et de perdre beaucoup d'air par les jointures, quelque soin qu'on apporte à leur confection. C'est ce qui a déterminé les anglais à leur substituer des cylindres en fonte. La forme cylindrique a reçu la préférence, parce qu'elle présente plus de facilité dans son exécution.

Ces machines soufflantes, introduites dans la haute Silésie depuis une trentaine d'années, commencent à se répandre en Allemagne et en France. Le piston en fer (Fig. 8 et 9) se compose d'un plateau avec un rebord *aa* percé, près de la circonférence, d'un système de trous espacés entre eux de 8 à 12 pouces ; au centre est le fourreau *b* qui doit recevoir la tige, dont la longueur est déterminée par celle du cylindre et par l'étendue de la *volée**. Cette tige s'ajuste parfaitement dans le fourreau ; tous les deux sont percés d'une ouverture dans laquelle on enfonce une clavette qui fixe la tige au plateau.

On rembourre, avec de la laine, l'espace annulaire

---

* L'ascension du piston s'appelle *volée* ou *levée*. Le T.

formé par le rebord *aa* et une bande d'un très-fort cuir assujettie au plateau par des vis, qui sont munies d'écrous et qui traversent les trous dont il s'agit.

Le diamètre du piston diffère de celui du cylindre de 6 à 9 millimètres. Il en est de même pour les dimensions d'un anneau *e*, dont le cuir est couvert et qui se confectionne avec du bois dur et sec, principalement avec du chêne; il est percé d'un nombre de trous égal à celui du plan mobile. Sur l'anneau en bois se place un anneau en plomb qui, retenu aussi par les vis, donne plus de solidité à l'autre, afin que les écrous puissent être serrés avec plus de force.

Il est essentiel que le cuir reste toujours tendu pendant le jeu du piston. C'est donc ce bourlet qui ferme le cylindre hermétiquement; il ne doit dépasser le bord du disque mobile que d'une quantité égale à la différence d'un diamètre à l'autre. La plombagine mise sur le cuir et sur les parois du soufflet, sert à diminuer le frottement.

Les cylindres, après avoir été polis sur le tour, ne doivent présenter ni endroits rudes, ni soufflures, qui déchireraient le cuir. Une concentricité parfaite est indispensable pour que le contact soit intime et le frottement uniforme.

Le creux formé par le rebord serait très-préjudiciable à l'effet de la machine; on le remplit avec du bois et l'on ne ménage que l'espace strictement nécessaire au jeu des soupapes. Au reste, la forme la plus convenable que les pistons puissent recevoir, est celle des Fig. 3 et 6 Pl. III.

653. Le choix des moyens qu'on emploie pour empêcher les fuites d'air est d'une haute importance. Pour faire joindre le plateau du piston hermétiquement aux parois du cylindre, on se sert en Angleterre le plus souvent de deux bandes du cuir le plus fort *a*, *a* (Fig. 10, Pl. II)

dont l'une est courbée vers le haut et l'autre vers le bas. Entre les deux cuirs se trouve un anneau en bois *b*. Le cuir supérieur est recouvert par un anneau en fer forgé *c*, fixé au plateau par des écrous et des boulons taraudés : ce plateau est pourvu d'un rebord *e* dont la saillie est égale à celle du cuir. Dans la partie du plateau recouvert par le cuir inférieur, se trouve une moulure *f* à laquelle communiquent des trous *g* pratiqués dans le plateau, pour donner accès à l'air. Quand le piston s'élève, l'air pressant contre le cuir supérieur le fait joindre hermétiquement aux parois du cylindre; lorsqu'il s'abaisse au contraire, l'air comprimé, entrant par les ouvertures *g*, produit le même effet sur le cuir inférieur. Au reste, ces moyens employés en Angleterre pour faire joindre le piston au cylindre, ne présentent point d'avantage sur ceux que nous avons indiqués (652).

M. Althans est inventeur d'une autre méthode (Pl. III, Fig. 6). Il coupe de la forte toile pour voiles de navire en bandelettes de 26 millimètres de largeur, dans une direction de 45 degrés avec la trame, les plonge dans de l'eau contenant du graphite délayé et une petite quantité d'amidon, les fait sécher et coudre l'une au-dessus de l'autre, jusqu'à ce qu'elles forment une espèce de liteaux de 13 millimètres d'épaisseur, qu'on coupe sur une largeur de 20 millimètres, à angle droit du côté intérieur et à angle un peu aigu du côté extérieur qui doit toucher le cylindre, à cause de la position inclinée qu'ils reçoivent sur le piston. Avec ces liteaux on forme ensuite deux anneaux, dont l'un est placé en dessus et l'autre en dessous de la saillie du plateau. Des anneaux de recouvrement *a*, *a* serrés l'un contre l'autre à l'aide de boulons taraudés, maintiennent les liteaux de toile, et l'air comprimé se faisant jour par les ouvertures *c*, presse les liteaux contre les parois du cylindre.

Un procédé semblable au précédent, mais perfectionné et très-simple, se trouve représenté par la Fig. 11, *a*, *b*, *c* Pl. II. Le plateau est massif et ne reçoit point d'anneaux de recouvrement pour maintenir les liteaux de toile; mais on y ménage une excavation circulaire, qu'on met à des dimensions exactes sur le tour, de façon qu'elle ait 26 millimètres de profondeur et 13 millimètres de hauteur. C'est dans cette fente régulière qu'on insère les liteaux de toile. Des ressorts à boudin, espacés de 10 centimètres en 10 centimètres et placés dans des trous qui ont 4 centimètres de profondeur et 9 millimètres de diamètre, pressent les liteaux contre le cylindre. Ces ressorts, qui sont en fer ou en acier, appuient contre des supports en bois *b* qui ont aussi 9 millimètres de diamètre. Parmi quatre supports, un est ordinairement en fer, et muni d'une pointe pour maintenir l'anneau. Ce dernier doit remplir l'excavation; mais on ne peut éviter que l'air ne trouve encore une issue entre l'anneau de toile *m* et les parois intérieures de cette excavation. Pour fermer ce passage au fluide, on garnit l'intérieur de l'anneau avec un cuir très-mince *f*, de la peau d'agneau, dans laquelle cet anneau est en partie enveloppé, comme un livre par sa couverture. L'air pressant alors le cuir contre les parois de l'excavation circulaire, ne trouve plus aucune issue. Du fil de laine appliqué sur les liteaux empêche d'ailleurs que ce cuir mince ne s'y colle ou qu'il ne s'y applique trop fortement, ce qui détruirait l'effet qu'il doit produire.

Un plateau confectionné d'après cette méthode, la meilleure de toutes, peut durer plusieurs années, sans avoir besoin de réparations.

654. Les soufflets à piston peuvent être disposés et construits de manière que le fond de la caisse soit placé en dessus ou en dessous: dans le premier cas, l'air est

comprimé par le mouvement ascendant du plateau mobile et dans le deuxième, par son mouvement descendant.

Dans les soufflets en bois, le fond est fixé aux parois par un assemblage à queue d'aronde. Dans les soufflets en fonte, il porte un rebord assujetti par des vis au rebord du cylindre : un anneau en plomb mis entre eux, sert à fermer le passage à l'air.

La caisse et le piston, au lieu d'être placés debout, pourraient être couchés ou recevoir une position inclinée à l'horizon, pourvu toutefois que l'axe de l'une et celui de l'autre coïncidassent parfaitement : mais cette disposition entraînerait une plus grande complication dans ces appareils, et le plateau mobile, sollicité par sa pesanteur, exercerait une plus forte pression sur les parois inférieures du cylindre. Ces machines soufflantes se rencontrent rarement ; on doit préférer les autres.

Si les caisses reposent sur leur fond, les soufflets sont dits *aller par dessus*, pour les distinguer de ceux dont le fond est tourné vers le haut et qui *vont par dessous*. Il est essentiel dans l'un et l'autre cas, que leur axe soit dans une direction parfaitement verticale.

655. Voici quelle est en général la construction d'un soufflet allant *par dessous* (Fig. 6 et 7, Pl. II) : A est la caisse, B le plateau mobile, C la tige du piston, *m* la soupape d'expiration adaptée au fond et placée dans un compartiment distinct D, qui communique par un porte-vent, soit au régulateur, soit immédiatement à la buse. Lorsque le piston descend, la soupape *m* se ferme et les autres *i*, *i* s'ouvrent pour donner entrée à l'air extérieur ; le contraire a lieu dans le mouvement rétrograde où la soupape *m* s'ouvre pour offrir un passage au fluide comprimé. Il est visible que le clapet *m* ne peut se lever que lorsqu'une partie de la course ascendante est achevée,

puisqu'au-dessus de la soupape *m*, l'air est dans un état de compression, tandis que dans l'intérieur de la caisse, il n'a que la densité atmosphérique : il faut donc qu'il ait reçu d'abord une pression capable de vaincre l'autre, qui est augmentée de tout le poids du cône ou du clapet.

Si par conséquent, avec deux soufflets simples on veut obtenir un jet d'air continu, il faut que la vitesse des pistons soit accélérée d'abord et ralentie vers la fin, pour que le deuxième puisse commencer le mouvement ascendant avant que le premier l'ait terminé. Quand on en a trois, on peut imprimer aux plateaux une vitesse uniforme.

656. Dans les caisses posées *sur leur fond* (Fig. 12, Pl. II), les plateaux mobiles n'ont point de soupapes. Celle qui sert à l'inspiration *i*, est placée sur les côtés, très-près du fond, ou elle est adaptée au fond même, comme *m*. Si les soufflets sont disposés immédiatement sur le plancher de la chambre, on établit au-dessous de la soupape *m* un canal qui puisse donner entrée à l'air. La soupape d'expiration *n* communique par un porte-vent, au réservoir ou à la buse.

Par une disposition de soupapes semblable à celle de *i* et de *n*, il se formerait un espace nuisible d'une assez grande capacité ; on aurait deux moyens pour remédier à cet inconvénient : le plus simple serait de garnir le fond avec du bois, et de ne laisser que l'espace strictement nécessaire au jeu des soupapes ; on pourrait aussi pratiquer dans le fond deux renfoncemens α et β, pour l'aspiration de l'air atmosphérique et pour l'émission de l'air comprimé ; mais dans l'un et dans l'autre cas, on serait obligé de conserver un certain espace qui se remplirait d'air comprimé, et qui diminuerait l'effet de la machine. C'est en raison de cette défectuosité, et parce qu'il faut maintenir contre l'action de la pesanteur, les liteaux des soufflets

qui vont *par dessus*, que les soufflets allant *par dessous* doivent avoir la préférence*.

657. Les pistons des machines soufflantes en fonte et à simple effet, peuvent se mouvoir aussi de bas en haut ou de haut en bas. L'inconvénient pour les cylindres posés sur leur fond, n'est pas aussi grave que pour les caisses en bois; parce qu'on peut y adapter des cols dans lesquels se placent les soupapes: le plan mobile peut s'approcher alors très-près de l'autre. Cependant on préfère les cylindres qui vont par dessous; ils n'ont pas besoin de col, parce que la soupape *d'expiration* peut s'adapter immédiatement au plateau immobile**. Quelque petites que soient ces boîtes, elles laissent toujours un espace nuisible; si on les faisait au côté du cylindre, ce serait encore plus préjudiciable, à moins que le plan fixe n'avançât dans l'intérieur d'une distance égale à la hauteur des cols, sans pourtant interrompre les communications avec les soupapes.

658. Dans les caisses ou dans les cylindres placés debout, il est essentiel que les pistons conservent toujours une direction verticale. On leur transmet le mouvement comme aux soufflets à charnière, par des cammes épicycloïdales, des roues dentées ou des manivelles. Dans les soufflets posés sur leur fond, il faut relever le piston lorsqu'il est abaissé, à moins qu'on ne fasse usage de la manivelle; on emploie pour cet effet des contre-poids suspendus à l'une des extrémités d'un levier: mais, comme

* Ajoutons encore qu'une partie de la poussière qui se dépose en grande quantité sur le piston, pénètre dans l'intérieur de la caisse, et nécessite, pour les soufflets placés sur leur fond, de plus fréquentes réparations. Le T.

** C'est aussi à cause de la poussière, et parce qu'on peut adapter au plan *mobile* les soupapes d'*inspiration*, qu'on les préfère. Le T.

la direction de cette force ne doit pas sortir de la verticale, il faut que le balancier porte un arc de cercle, ou que les contre-poids agissent sur des poulies. Dans les soufflets qui vont par dessous, le piston retombe en vertu de la pesanteur; pour le retarder dans sa chute, pour prévenir les secousses et l'ébranlement de la machine, on le met en communication avec des contre-poids, ou bien on fait glisser la tige sur une épicycloïde renversée *.

659. La tige des soufflets dont le fond est en dessus, traverse quelquefois le plateau supérieur, si l'on trouve plus d'avantage dans la manière d'appliquer la force motrice. L'ouverture circulaire pratiquée à cet effet dans le fond, est doublée ordinairement en cuivre jaune, afin que le frottement soit diminué. Du reste on ne change pas les autres dispositions de la machine.

Les forces motrices sont l'eau, la vapeur ou la force animale. Cette dernière, qui est la plus dispendieuse, ne doit servir que rarement. Si l'on peut disposer d'une chute d'eau, on trouve toujours de l'économie dans l'emploi de la roue hydraulique. C'est d'ailleurs aux localités à décider si les produits de l'usine peuvent supporter les frais d'entretien d'une machine à vapeur.

660. Nous n'avons parlé jusqu'ici que des soufflets simples, appelés ainsi parce qu'ils ne peuvent donner de l'air

* Le mouvement circulaire uniforme ne peut être changé en mouvement rectiligne uniforme, si les cammes n'ont pas la courbure d'une développante de cercle. Les cammes épicycloïdales ne peuvent servir qu'à changer un mouvement circulaire en un autre pareillement circulaire : elles ne paraissent donc propres qu'au jeu des soufflets à charnière. Mais n'oublions pas que le mouvement des pistons ne doit pas être uniforme, à moins qu'on n'emploie un régulateur. Voyez le paragraphe 655. Le T.

que pendant un seul des deux mouvemens du plateau; mais aujourd'hui on emploie avec beaucoup d'avantage les soufflets à double effet, qui fournissent de l'air lorsque le piston descend et lorsqu'il remonte. Cette heureuse invention a simplifié les appareils et diminué la capacité des cylindres.

L'emplacement des soupapes présente quelque obstacle dans les soufflets en bois à double effet (656), bien qu'à force de soin on puisse vaincre cette difficulté. Quoi qu'il en soit, il faut préférer toujours les cylindres en fonte, parce que les caisses en bois ne sont pas assez solides et que par les jointures et même à travers les fibres du bois, elles offrent de nombreuses issues à l'air; elles seraient susceptibles cependant de grandes améliorations.

Dans les contrées où l'achat des cylindres de fonte fait naître encore de trop grandes dépenses, on devrait du moins améliorer la construction des soufflets à piston en bois: couvertes d'une épaisse peinture à l'huile, les caisses se conserveraient plus long-temps, seraient mieux fermées, et elles remplaceraient jusqu'à un certain point les cylindres en fonte.

661. Dans les soufflets cylindriques à double effet (Fig. 13), le piston ne peut avoir aucune ouverture: cependant il est souvent creux dans le milieu, comme s'il devait recevoir des soupapes, et il porte un rebord vers la circonférence. Cette disposition a pour but de décharger la machine d'un poids inutile. L'espace creux se remplit de bois; au lieu d'un anneau placé sur le bourlet en cuir (653), on prend un cercle plein, traversé au centre par la tige du piston. C'est un moyen de consolider l'assemblage de cette tige et du plateau mobile; mais il devient inutile, si le piston est confectionné d'après la dernière méthode du paragraphe 653.

Les soupapes i, i' (Fig. 13) aspirent l'air atmosphérique; les soupapes m, m' servent à l'expiration de l'air comprimé; leur position est légèrement oblique, afin qu'elles puissent se fermer en vertu de leur poids, lorsqu'elles ne sont pas repoussées par l'élasticité du fluide. Les clapets confectionnés en bois légers sont doublés de feutre et viennent s'appuyer contre une garniture de cette étoffe ou de peau d'agneau. Les soupapes d'aspiration doivent offrir un large passage à l'air.

Les cols doivent être adaptés de préférence au fond du cylindre. On serait obligé d'augmenter la hauteur de ce dernier si on les mettait sur les côtés, ce qui entraînerait à une dépense inutile.

Dans l'ouverture x est un fourreau de cuivre jaune; le creux z n'a d'autre but que d'offrir un logement à l'extrémité de la tige qui dépasse le plan mobile.

Les soupapes m et i' s'ouvrent, lorsque le piston s'élève; elles se ferment et les soupapes m' et i s'ouvrent, lorsqu'il s'abaisse.

L'air refoulé qui a passé par les soupapes m m', est conduit dans des caisses d'air. Ces caisses, pour un seul cylindre comme pour plusieurs, communiquent entre elles par des porte-vents, qui conduisent le fluide immédiatement aux buses ou dans un réservoir commun, d'où il s'échappe ensuite dans les fourneaux.

662. On imprime le mouvement aux pistons avec des manivelles, des roues dentées ou des balanciers mis en communication avec une machine à vapeur à double effet. On conserve à la tige la direction verticale, à l'aide du parallélogramme.

DES SOUFFLETS HYDRAULIQUES.

663. Les soufflets hydrauliques ne pourraient fournir une grande quantité de vent sous une pression considérable. Leur mécanisme est très-simple : dans une cuve contenant de l'eau A (Fig. 18, Pl. II), se meut une caisse renversée B ; en s'abaissant, elle refoule l'air contre la surface de l'eau, et le force à s'échapper par une soupape qui dépasse le niveau du liquide. Quand elle s'élève, l'air atmosphérique pénètre dans l'intérieur par une autre soupape disposée d'une manière semblable ; comprimé de nouveau, il s'échappe par la première, et ainsi de suite.

M. Baader a proposé plusieurs améliorations empruntées des machines soufflantes en fonte : la caisse se meut entre des rouleaux. Si la force motrice est appliquée de manière, qu'au lieu de la soulever elle l'abaisse, il faudra que la tige puisse se mouvoir dans un fourreau (un tube cylindrique) ajusté au fond de la cuve.

C'est par la soupape *i* que l'air est inspiré ; l'espace *x* au-dessous de cette soupape est donc en communication avec l'air atmosphérique. Le canal *z* est mis en communication avec les autres soufflets, avec le régulateur ou avec la buse. La soupape *m* pour bien se fermer, n'est pas suspendue verticalement ; l'espace *n* en avant du clapet, doit être le plus petit possible. La différence entre les hauteurs des deux colonnes d'eau dépend de la pression de l'air.

664. La construction que nous venons d'indiquer, est celle que M. Baader a proposée en dernier lieu. On ne peut révoquer en doute que ces machines soufflantes ne puissent rendre tous les services qu'on peut exiger des soufflets à piston en bois ; mais l'effet en est d'autant plus faible, que la surface de l'eau contenue dans la caisse in-

térieure est plus petite; il faut donc l'augmenter autant qu'il est possible et rétrécir le plus possible l'espace compris entre le bassin et la caisse *.

Au moment où la caisse mobile est arrivée au plus haut point de sa course, les deux colonnes d'eau sont de niveau, parce qu'elles n'ont à supporter l'une et l'autre que la pression de l'air atmosphérique. Lorsque la caisse descend, l'air, se trouvant comprimé, agit sur la surface intérieure avec une force nouvelle, et l'abaisse au-dessous de son premier niveau; tandis qu'il soulève la colonne extérieure jusqu'à ce que leur différence de hauteur fasse équilibre à la pression du fluide.

665. Améliorés par M. Baader, les soufflets hydrauliques dont on a tant vanté la perfection, portent aujourd'hui le nom de cet auteur. La forme des caisses est assez indifférente: M. Baader proposa d'abord d'employer des cuves en bois; plus tard il a préféré les caisses composées de plaques en fonte. On rencontre une semblable machine soufflante dans les forges d'Eibelshaussen, près de Dillenbourg, où elle active avec avantage un fourneau de $8^{m},7$ de hauteur. L'objection qu'on a faite contre ces soufflets, de fournir un air moins bon, n'est pas fondée; car l'expérience a suffisamment prouvé que l'air qui a séjourné sur une

* Peu importe que pour une capacité donnée, la caisse renferme une surface liquide plus ou moins étendue; l'espace qui restera rempli d'air comprimé n'en sera ni plus ni moins grand. Il sera toujours égal à tout le volume d'eau déplacé, et ce dernier n'a aucun rapport avec la surface liquide intérieure: il ne dépend que de l'ouverture de la buse ou de la pression qu'on veut donner à l'air, et de l'épaisseur de l'enveloppe liquide renfermée entre la cuve et les parois de la caisse. C'est cette enveloppe qu'on doit rendre le plus mince possible, si l'on veut diminuer l'espace nuisible; afin qu'une faible quantité d'eau chassée de la caisse, puisse produire une grande différence dans la hauteur des deux colonnes. Le T.

nappe d'eau, ne contracte aucune qualité nuisible aux travaux sidérurgiques. Si le frottement et la perte d'air sont moins considérables que dans les meilleures caisses à piston, les soufflets hydrauliques demandent d'un autre côté, une attention particulière pour que l'eau soit maintenue constamment à la même hauteur. Ils sont employés dans plusieurs usines avec succès; mais on ne les a comparés encore qu'à de mauvaises machines soufflantes.

666. Nous devons à M. d'Aubuisson une description fort exacte des soufflets à tonneaux. Cette machine consiste en deux tonneaux ordinaires (Pl. II, Fig. 14, 15, 16, 17), cerclés en fer et ayant dans œuvre $1^{m},60$ de diamètre et $1^{m},20$ de longueur. Ils sont portés sur deux tourillons horizontaux fixés à leur fond. Chacun est divisé dans le sens de la génératrice, en deux parties égales, par une cloison qui s'arrête à 40 centimètres de la paroi inférieure. Le fond tourné du côté du foyer est pourvu de soupapes qui offrent un passage à l'air comprimé. L'autre fond est muni de soupapes pour l'entrée de l'air. Sur la partie supérieure de chaque tonneau est un trou de bonde, par lequel on introduit de l'eau; on le vide à volonté, à l'aide d'un robinet adapté à la partie inférieure: lorsque la machine est en jeu, chaque tonneau est à moitié plein d'eau.

Les deux soupapes d'expiration sont embrassées par le gros bout d'un tuyau en cuivre laminé *b* (Fig. 17), contourné en forme de trompe, et dont le petit bout ne cesse d'être dans le prolongement de l'axe du tonneau. A ce petit bout on adapte et l'on ficelle un tuyau de cuir communiquant avec un tuyau de fer blanc *d* (Fig. 16). Ce dernier conduit le vent dans une caisse à air *e*, d'où il se rend dans la buse *s*.

Ces tonneaux reçoivent un mouvement d'oscillation au moyen de deux bielles *gg*. L'une est adaptée au fond de

derrière du premier tonneau et l'autre au fond antérieur du deuxième. Les bielles sont mues par des roues dentées, faisant fonction de manivelles et communiquant chacune avec une lanterne établie sur l'axe de la roue hydraulique. La machine est construite de manière que les oscillations sont de 96 degrés, et leur nombre est de 13 par minute. Par suite du mouvement oscillatoire, le tuyau en cuir se tord tantôt d'un côté, tantôt de l'autre.

Lorsque le tonneau est mis en mouvement, la majeure partie de l'eau se portant dans l'un des compartimens, y comprime l'air et le fait sortir par la soupape d'expiration (Fig. 15); dans l'autre au contraire, l'air se raréfie, puisque sa capacité augmente, ce qui fait ouvrir la soupape d'aspiration. Lorsque le tonneau revient, l'eau rentrant en masse dans le deuxième compartiment, comprime l'air, etc.

Les points d'attache des bielles sont disposés de manière que l'un des compartiments d'un des tonneaux commence son expiration avant que son correspondant dans l'autre tonneau ne l'ait erminée.

667. Les machines soufflantes à tonneaux sont très-simples, faciles à confectionner et peu dispendieuses dans leur entretien. L'eau bouche parfaitement toutes les issues à l'air. Mais l'effet utile de ces machines est très-petit, à cause de la grande capacité de l'espace nuisible qui reste rempli d'air, dont la compression absorbe inutilement une partie de la force motrice. D'ailleurs ces soufflets ne pourraient fournir un air très-comprimé. On ne peut donc les employer que pour les feux de chaufferie, ou pour de petits feux d'affinerie *.

* L'espace dont on ne peut expulser l'air comprimé est nuisible en ce sens, qu'il nécessite un agrandissement du soufflet, s'il doit donner le volume d'air qu'il pourrait produire par une expiration entière. La machine devenant

668. Si l'on veut obtenir un vent fort, il faut nécessairement recourir aux machines soufflantes en fonte. Leur effet utile croît avec la capacité du cylindre. Le plus grand qui existe peut-être est celui de Dowlais, près de Merthir Tydvil. Il a 12 pieds de diamètre et 10 pieds de volée (mesure anglaise).

Les soufflets à piston et en bois, ainsi que les soufflets à chaînette, qui les valent sous tous les rapports, conviennent parfaitement pour de petits hauts fourneaux activés au charbon de bois, et pour les feux d'affinerie. Les soufflets en cuir, les soufflets pyramidaux en bois et les trompes ordinaires constituent les machines soufflantes les plus imparfaites.

DES RÉGULATEURS.

669. Trois soufflets réunis ensemble, quelle que soit du reste leur forme, donnent toujours un vent continu, parce qu'à tous les instans il se trouve un piston vers le milieu de sa course. Pour ces machines soufflantes, on peut se borner à conduire l'air dans un porte-vent commun, d'où il se rend dans la buse: cependant on manquerait le but, si le jet devait avoir une vitesse constante.

---

alors plus grande, dépense plus de force par les frottemens et le défaut de rigidité des corps. Mais il n'est pas exacte de dire qu'une partie de la force motrice est absorbée par la compression de l'air renfermé dans l'espace nuisible, puisque cette force est restituée en entier par l'élasticité du fluide. En effet, lorsque le soufflet a été vidé, on est obligé de dépenser une certaine force pour faire retrograder le piston ou le corps qui a comprimé l'air. Or la force accumulée dans l'air comprimé remplace une partie de cette première force. S'agit-il par exemple d'un soufflet à piston allant en-dessous, on charge la tige de poids pour faire descendre le plateau; mais la force motrice devant en même tems comprimer l'air, et soulever ces poids, pourra être diminuée d'autant qu'on allégera le piston, c'est-à-dire de toute la force employée d'abord à comprimer l'air; il n'en résulte donc aucune perte. Le T.

L'expiration de l'air est encore plus inégale avec deux soufflets simples ; parce que le fluide ne peut s'échapper qu'après être comprimé. Un cylindre simple, mis en activité par une machine à vapeur à simple effet, donnerait un jet d'air alternatif, qui serait toujours faible au premier instant de la course du piston, si l'on n'y remédiait pas d'une autre manière : et, par les raisons que nous venons d'exposer, un seul cylindre, fût-il même à double effet, ne pourrait produire un jet continu.

670. Les appareils qu'on emploie pour obtenir des jets continus et uniformes, s'appellent *régulateurs*. Indispensables pour le cylindre simple et nécessaires pour le cylindre à double effet, puisque ses deux parties ne peuvent jamais expirer de l'air simultanément, ils ne pourraient être supprimés que pour les machines composées de deux cylindres à double effet.

Pour régulariser la vitesse du vent, il suffit de le diriger dans un réservoir et de le faire sortir ensuite par la buse avec une pression à peu près uniforme ; deux moyens se présentent pour conduire à ce but. On peut remplir d'air comprimé un grand espace fermé hermétiquement et mis en communication avec la buse. Si la capacité de ce réservoir est très-grande, par rapport à celle du soufflet, la quantité d'air qu'il contiendra ne pourra éprouver que d'insensibles variations, par le jeu de la machine. Des caisses d'air ou des porte-vent d'une grande longueur, agissent donc en quelque sorte comme des régulateurs *. Le jet sera d'autant plus égal que la capacité

* J'ai eu plusieurs fois occasion de vérifier ce fait : si deux feux sont activés par une seule machine soufflante qui n'a point de régulateur, c'est dans le feu le plus éloigné des soufflets que le travail de l'affineur s'exécute avec le plus de facilité ; c'est ce feu qui reçoit le vent le plus uniforme. Le T.

de ces caisses ou de ces tuyaux sera plus considérable. Un cylindre simple ou même un cylindre à double effet, et généralement tous les soufflets qui produisent des jets d'air alternatifs, exigeraient de très-vastes réservoirs.

671. La difficulté d'établir ces immenses chambres appelées *régulateurs à capacité constante*, et les frais de construction qu'ils occasionnent avaient restreint leur emploi. Le premier de ces régulateurs s'est vu à Devon, en Ecosse; il était taillé dans un roc de grés dont on avait calfaté les parois, afin de fermer hermétiquement les fissures. Il avait 72 pieds de longueur, 14 pieds de largeur, 13 pieds de hauteur et à peu près 13,000 ppp. de volume.

672. Depuis quelque temps on a repris les régulateurs à capacité constante. Ils sont fort en usage dans le pays de Galles. On les fait maintenant en tôle et on leur donne une forme sphérique ou ellipsoïdale. Ils ont 7 à 8 mètres de diamètre et 180 à 270 mèt. cub. de capacité. Ces globes posés sur un support, à l'air libre, sont goudronnés en dehors et en dedans, et pourvus vers la partie supérieure d'une soupape de sûreté.

673. Le deuxième moyen qu'on peut employer pour obtenir un jet d'une vitesse constante, se réduit à diriger l'air dans une caisse où, à l'aide d'un poids, il éprouve une pression uniforme et proportionnée à la force de la machine soufflante. Si dans un instant quelconque l'air affluant arrive en moindre quantité, le poids l'empêchera de se dilater; en plus forte masse, il soulevera ce poids, et la vitesse du vent restera la même. Il s'ensuit que le compartiment supérieur du soufflet de maréchal est un véritable régulateur.

On comprime l'air dans les régulateurs, soit à l'aide d'un piston flottant chargé de poids, soit à l'aide d'une colonne d'eau. Les premiers s'appellent régulateurs secs *, les deuxièmes, régulateurs à eau.

674. En sortant du cylindre, l'air est soumis à une plus forte pression que dans le régulateur, sans cela, il ne pourrait ouvrir la soupape; il doit occuper d'ailleurs un espace plus considérable dans cette caisse destinée à fournir du vent au foyer pendant tout le temps que le piston fait son mouvement rétrograde. Il faut donc que la capacité du réservoir soit plus forte que celle du soufflet. On pourrait croire au premier abord, qu'elle doit être le double; mais rempli entièrement lorsque le piston est au plus haut point, le cylindre ne contient que de l'air non comprimé, qui, dans le régulateur, occupe un volume plus faible. D'après cette considération, et eu égard à la diminution d'effet occasionnée par l'espace nuisible, il suffit de donner au régulateur sec une capacité qui soit une fois et demie aussi grande que celle du cylindre.

675. Le régulateur à frottement se compose d'un cylindre bien alésé, contenant un piston qui se meut dans son intérieur et le ferme hermétiquement; au fond, se trouvent deux ouvertures, l'une pour donner entrée à l'air, et l'autre pour établir la communication avec la buse : ni l'une ni l'autre n'ont de soupape, parce que les porte-vent doivent être regardés comme un prolongement du régulateur; mais le conduit qui amène l'air est pourvu d'une soupape adaptée le plus près possible de chaque soufflet.

En arrivant au régulateur, une partie de l'air s'échappe

* Ou régulateurs à frottement. Le T.

par la buse, et l'autre agit sur le piston qu'elle soulève avec d'autant plus de vitesse que le poids en est moins considérable. Il faut donc que ce poids se trouve dans un rapport déterminé avec la force de la machine soufflante et la vitesse qu'on veut donner au vent.

Un piston trop léger serait lancé en dehors par l'action successive des soufflets, quelle que fût, du reste, la hauteur du régulateur. Pressé par un piston trop lourd, l'air sortirait par la buse avec une trop grande vitesse et le jet deviendrait intermittent. Si avec une charge convenable, la capacité du régulateur était trop petite, le piston pourrait encore sortir du cylindre; et si, dans ce cas, on voulait augmenter la charge, on se jetterait dans les inconvéniens d'une trop forte vitesse.

676. L'air contenu dans le régulateur, exerce sur tous les points une égale pression qui, pour une surface donnée, peut être représentée par un poids exprimé en kilogrammes, et c'est en vertu de ce poids que le vent se trouve lancé dans le fourneau.

Si, pour une capacité donnée, le régulateur était étroit, le piston flottant éprouverait des déplacemens considérables pour faire place aux quantités d'air arrivant; mais ces déplacemens qui sont toujours la preuve d'une construction vicieuse, ne peuvent s'exécuter sans que la pression de l'air ne subisse des variations analogues : si le piston s'élève, cette pression doit vaincre aussi le frottement; s'il s'abaisse, le frottement vient au contraire en déduction; de sorte que la différence résultant de cet objet est égale au double de la force qui représente le frottement. On doit donc éviter ces déplacemens le plus possible, en donnant une grande largeur au régulateur. Ce n'est alors que par mesure de sûreté, que ses côtés doivent s'élever à une certaine hauteur au-dessus du pis-

ton. En un mot, l'uniformité du jet dépendra de l'aire du plateau.

L'effet de la machine est quelquefois augmenté ou diminué par des causes fortuites. On doit se prémunir contre ces accidens et empêcher que le plateau ne soit jeté au dehors ou qu'il ne tombe sur le fond du régulateur. Il faut donc adapter à celui-ci des soupapes de sûreté qui s'ouvrent lorsque le plateau arrive à un point déterminé, ou donner à ce dernier des soupapes que l'air soulève, quand il est trop fortement comprimé. La machine est mal construite, son effet est manqué, les pertes d'air sont considérables, si les soupapes doivent remédier au défaut de largeur du cylindre.

On prévient l'autre accident à l'aide des supports qui sont établis dans l'intérieur du régulateur, et qui servent de points d'appui au plateau, si l'on veut arrêter la machine, ou si, par une circonstance quelconque, elle donne une moindre quantité d'air.

677. Les régulateurs secs sont d'un fréquent usage; mais les fortes machines soufflantes demandent pour cet objet, des cylindres très-larges, et difficiles à confectionner. Des pertes d'air plus ou moins grandes sont d'ailleurs inévitables; il s'échappe toujours une partie du fluide entre les liteaux et les parois du régulateur, et une autre par les soupapes de sûreté. L'air fourni par chaque coup de piston soulève le plateau chargé de poids et augmente la vitesse du vent; et comme les régulateurs étroits donnent lieu à de grands déplacemens de cette nature, ils présentent à un haut degré les inconvéniens précités. Si le ressort du fluide élastique était constamment égal aux poids du plateau, ce dernier se soutiendrait toujours à la même hauteur, mais il n'en est pas ainsi; n'arrivant que par intervalles, l'air le fait descendre et remonter al-

ternativement, et ce mouvement ne peut s'exécuter sans l'emploi d'une certaine force qui d'ailleurs, est proportionnelle à la vitesse imprimée au plan mobile.

La confection des larges cylindres étant dispendieuse, on a voulu les remplacer par des caisses composées de plaques en fonte; mais il devenait alors plus difficile de les fermer hermétiquement, et les pertes d'air augmentaient encore. L'extrême largeur des cylindres, l'embarras de les monter, les pertes de vent, la crainte des accidens, en ont fait restreindre l'usage pour les machines soufflantes d'une force moyenne; et pour les grandes machines, on emploie toujours le régulateur à eau ou le régulateur à capacité constante, qui d'ailleurs peuvent servir aussi pour les autres.

La crainte des accidens est bien justifiée par l'extrême pesanteur du plateau. Lorsque le régulateur a $2^{m},30$ de diamètre, et que la pression de l'air est égale à $0^{k},2$ par centimètre carré, le plateau doit peser 8309. kil.

678. *Le régulateur à eau* se compose d'une caisse plongée dans l'eau jusqu'à une certaine hauteur. La partie de cette caisse comprise entre la surface liquide et le plan supérieur, reçoit l'air des machines soufflantes, et lui donne une issue dans la buse. L'eau contenue dans la caisse B (Fig. 19 et 20), lorsqu'elle est refoulée par le ressort du fluide élastique, remonte dans le bassin A; puisque cette caisse, au lieu de reposer sur le fond de ce bassin, est disposée sur des chantiers *i*, afin que la communication entre les deux colonnes d'eau ne soit pas interrompue. Si les deux surfaces liquides étaient également comprimées, elles se maintiendraient à la même hauteur; c'est ce qui a lieu dans l'état naturel, étant soumises l'une et l'autre à la pression de l'air atmosphérique.

679 Lorsque le régulateur B se remplit d'air compri-

mé, la colonne intérieure s'abaisse au-dessous du premier niveau, et l'autre s'élève au-dessus de ce point, en raison du volume d'eau déplacé. Si le réservoir et le bassin ne pouvaient pas être assimilés aux deux branches d'un tube recourbé à hauteurs indéterminées, la colonne d'eau déplacée serait précisément celle qui ferait équilibre à la pression de l'air; mais en même temps qu'elle s'abaisse d'un côté, elle s'élève de l'autre; en sorte que le liquide chassé de la caisse, ne forme qu'une partie de la colonne qui mesure la compression du fluide élastique*.

Soit *ee* le niveau naturel et supposons que les deux nappes soient égales en surface, l'eau du bassin s'élèvera au-dessus de *ee* de la même quantité que la colonne intérieure s'abaissera au-dessous de cette ligne**. Si la pression de l'air était mesurée par une colonne de 6 pieds, l'eau devrait s'abaisser dans la caisse de 3 pieds et s'élever dans le réservoir de la même quantité au-dessus de *ee*. En supposant que les deux nappes d'eau ne fussent point égales, leurs distances au plan *ee* seraient réciproquement proportionnelles à leurs surfaces. Pour une nappe intérieure deux fois plus grande que celle de l'enveloppe, le niveau descendrait de 2 pieds dans le régulateur et remonterait de 4 dans le bassin. Le rapport entre ces déplacemens dépend donc du rapport des surfaces; mais leur somme, ou ce qui revient au même, la différence entre la hauteur intérieure et la hauteur extérieure du liquide, est toujours égale à la colonne d'eau qui mesure la pression de l'air.

---

* Si, par exemple, le bassin avait un orifice pour l'écoulement du liquide, à la hauteur du niveau naturel, la colonne d'eau sortie de la caisse serait précisément celle qui mesurerait la pression de l'air.

Le T.

** Il est sous-entendu que le bassin et le régulateur ont une forme prismatique ou cylindrique. Le T.

680. Il est essentiel que les porte-vent soient adaptés aux deux côtés extrêmes du régulateur, et que les soupapes d'expiration soient placées le plus près possible des cylindres soufflans.

On pourrait à la rigueur faire la grandeur du bassin et celle du régulateur dans un rapport quelconque. Cependant, l'eau devant s'élever davantage dans le premier, s'il est étroit, il faut lui donner alors une plus grande élévation au-dessus du niveau naturel. Pour plus de simplicité, on s'arrange de manière que les aires des deux nappes d'eau soient égales *.

681. L'emplacement respectif des tuyaux qui portent l'air dans le régulateur, et de ceux qui le conduisent dans la buse paraît indifférent au premier abord. On croirait même que les uns pourraient être en communication immédiate avec les autres (Fig. 21); mais l'expérience a prouvé le contraire. En vertu de sa vitesse acquise, le fluide passerait d'un des tuyaux dans l'autre sans éprouver de changement par le régulateur, dont l'effet serait alors d'autant moins sensible que la vitesse du vent serait plus forte. Il n'en est pas de même lorsque l'air doit traverser tout le régulateur avant d'arriver au conduit qui communique avec la buse.

682. Quant à la largeur de la caisse, par rapport à la capacité du soufflet, tout ce qui a été dit du régulateur à frottement, s'applique au régulateur à eau. Le poids du plateau est remplacé par la hauteur de la colonne d'eau *a c*. Cette hauteur est d'autant moins variable que la pression de l'air est plus égale, et cette pression ne peut approcher de l'uniformité qu'autant que la largeur de la

* Le rapport des aires est tout-à-fait indifférent. Le T.

caisse est très-grande par rapport à la capacité du cylindre*.

683. Le régulateur à eau, plus dispendieux dans la construction que le régulateur à frottement, possède sur celui-ci l'avantage de n'exiger aucune dépense pour son entretien et de ne pas occasionner de perte d'air, si toutefois il est bien conditionné. Le bassin *AbcA* se construit d'ordinaire en maçonnerie, quoiqu'on puisse aussi le confectionner en madriers. Les plaques de fonte qui forment la caisse se recouvrent dans les joints : après les avoir garnies dans leurs rainures avec des étoupes, on les assemble en les serrant fortement avec des vis ; celles qui sont employées pour les angles portent des rebords percés de trous. Enfin tout ce système est consolidé par des crampons et des barres de fer appuyées contre les parois du bassin.

Pour mieux fermer toutes les issues à l'air, on enduit les plaques sur les joints avec un ciment composé de 1 partie de chaux vive, de 2 parties de schiste ardoisier, le tout humecté avec du lait pressuré ou de fromage frais. La chaux et l'ardoise doivent être pulvérisées, passées au tamis et mélangées intimement avec le fromage. Ce mélange de matières se fait au fur et à mesure qu'on l'emploie ; s'il avait séjourné quelques heures à l'air, il perdrait de sa qualité : la pouzolane remplace le schiste avantageusement.

684. On a voulu jeter une défaveur sur les régulateurs

* Un régulateur à eau qui n'aurait pas plus de capacité qu'un régulateur à frottement, serait extrêmement mauvais. S'il ne recevait l'air que d'un seul cylindre soufflant, il faudrait qu'on lui donnât au moins 13 à 14 mètres de longueur, 2 mèt. et ½ de largeur et autant de profondeur. Le volume d'air qu'il peut renfermer doit être comparable, en quelque sorte, à celui qui est contenu dans un régulateur à capacité constante. Le T.

à eau, en prétendant que l'air qui séjourne sur ce liquide, se charge de vapeurs aqueuses et devient moins propre à la combustion Aucun fait d'expérience n'a prouvé encore que l'air comprimé sur l'eau en absorbe une plus grande quantité; et il est constaté par de nombreuses observations, que la fusion des minérais s'opère aussi bien avec le vent sorti des régulateurs à eau qu'avec celui des régulateurs secs.

On ne peut révoquer en doute que l'humidité de l'atmosphère ne soit nuisible au traitement des minérais. Il est probable que l'air humide ne se laisse pas comprimer au même degré que l'air sec; mais ne connaissant pas encore le mode de combinaison de ce fluide élastique avec l'eau, nous ne pouvons juger, d'après l'effet de l'air humide expiré par les machines soufflantes dans un temps de pluie, de l'effet que doit produire un air qui a séjourné quelque temps sur l'eau; d'autant plus qu'il n'est nullement prouvé qu'il a dû se charger d'une plus forte dose de ce liquide.

On cite une expérience faite en Angleterre: des vapeurs rouges de feu furent lancées dans le fourneau pour augmenter l'effet de la machine soufflante par la décomposition de l'eau, au lieu d'obtenir un succès de cette nature, on ne fit qu'éteindre les charbons, figer la matière fondue et refroidir le fourneau; mais on ne peut affirmer que les vapeurs aqueuses et l'humidité contenues dans l'air produisent le même effet. Quoiqu'il en soit, le régulateur à eau doit être absous du reproche de vicier l'air; et, d'après les raisons que nous avons données précédemment, on doit le préférer au régulateur à frottement.

DU VOLUME, DE LA DENSITÉ ET DE LA VITESSE DE L'AIR FOURNI RAR LES MACHINES SOUFFLANTES.

685. La quantité de charbon consumé est en rapport

avec la quantité d'air lancée dans le fourneau ou avec l'effet de la machine soufflante. Pour qu'on puisse tirer le parti le plus avantageux de la chaleur dégagée par la combustion, il faut que la largeur du foyer soit proportionnée à la masse d'air qu'il reçoit; mais il ne suffit pas toujours d'augmenter la dose de vent, on doit avoir égard aussi à la vîtesse, à la densité de l'air qui convient à la nature du combustible. Le coke dur brûle sans dégager beaucoup de chaleur, quel que soit le volume d'air qu'on lui fournisse dans un temps donné, si cet air n'est pas soumis à une certaine pression; tandis qu'un vent animé d'une grande vîtesse, consumerait le charbon de sapin avec trop de rapidité et sans que ce dernier pût produire l'effet qu'on peut en attendre par une plus lente combustion. Il faut donc savoir calculer, non-seulement le volume de l'air fourni par les soufflets, mais aussi la vîtesse avec laquelle on doit le lancer dans le fourneau.

686. Le volume de l'air et sa vitesse sont dépendans l'un de l'autre. Une certaine masse d'air qu'on chasse par un petit orifice, doit se comprimer davantage et recevoir une plus grande vitesse que si, toutes choses égales d'ailleurs, elle passait dans le même temps par une plus large ouverture. Cent pieds cubes de ce fluide sous la pression atmosphérique, expirés dans une seconde par une ouverture d'un pied carré, auraient une vitesse de 100 pieds par seconde; la même quantité d'air lancé par une ouverture d'un quart de pied carré, recevrait une vitesse de 400 pieds. Les vitesses de l'air ramené à la pression atmosphérique sont donc réciproquement proportionnelles aux surfaces des orifices d'expiration.

Il existe par conséquent deux moyens d'augmenter la vitesse du vent fourni par une machine soufflante: il faut ou rétrécir la buse ou accélérer le mouvement des pistons; on diminue la pression de l'air d'une manière inverse.

Il s'ensuit qu'avec les petites machines soufflantes, on ne peut augmenter le volume de l'air sans en diminuer la pression.

687. La relation qui existe entre les vitesses du vent et les aires des orifices d'expiration, nous offre un moyen très-simple de calculer la quantité d'air et la vitesse du vent qu'on peut obtenir avec une machine soufflante; il suffira de connaître la capacité des caisses et de s'assurer par l'observation du nombre des coups de piston fourni dans un temps donné; car la surface du piston est à la bouche de la buse, comme la vitesse du vent est à celle du piston. Une machine soufflante composée de trois caisses ou cylindres, dont les pistons ont chacun 12 pieds carrés de surface et 3 pieds de volée, donne par coup de piston de ses trois caisses, 108 pieds cubes d'air atmosphérique; si elle fournit huit coups semblables par minute, le volume d'air qu'elle peut donner sera de 108×8 pieds cubes. Mais on peut supposer que les trois pistons, qui ont chacun une vitesse représentée par 8×3 pieds, soient remplacés par un seul dont la vitesse serait $8 \times 3 \times 3 = 72$ pieds par minute. En supposant que l'ouverture de la buse soit égale à 6 pouces carrés, on aurait la proportion suivante:

Six pouces carrés sont à 12 pieds carrés, surface du piston $:: 72 : x$, ou $6 : 1728 :: 72 : x$; x serait la vitesse du vent, si la minute représentait l'unité de temps, ce qui donne pour la vitesse par seconde, 345 pieds et demi.

688. La pression exercée sur l'air influe non-seulement sur sa vitesse, mais aussi sur son volume; l'espace qu'il occupe est en raison inverse de la force comprimante.

Soit P la pression atmosphérique évaluée en poids, pour

les points du globe situés à égales hauteurs; p le poids qui servirait à comprimer l'air dans une caisse; V le volume occupé par le fluide sous la pression de l'atmosphère et D sa densité: on a les proportions

$$P : P + p :: D : D';$$

D′ étant la densité qui correspond à $P + p$,

ou $$D' = \frac{(P+p)D}{P} = \frac{P+p}{P}, \text{ si } D = 1;$$

et $$P : P + p :: V' : V;$$

V′ étant le volume qui correspond à $P + p$,

ou $$V' = \frac{PV}{(P+p)} = \frac{P}{P+p}, \text{ si } V = 1.$$

Connaissant donc P et p, il est facile d'en déduire V′ et D′: pour $P = 10$ et $p = 2$, la densité de l'air comprimé par 2 kil. serait à la densité de l'air atmosphérique comme $\frac{12}{10} : 1$, et leurs volumes comme $\frac{10}{12} : 1$.

689. D'après la méthode suivie au paragraphe 687, on peut calculer la quantité d'air en ramenant la pression à celle de l'atmosphère; mais les résultats seront tout autres dans la réalité: une machine soufflante dont le vent serait dû à une pression de 2 kil., et qui, d'après le calcul précédent, fournirait par seconde 1000 mesures d'air atmosphérique d'une densité = 1, ne donne réellement que 833 mesures d'une densité = 1,2 et dont la vitesse est moins grande.

690. La compression des gaz, fait dégager du calorique; il en est absorbé au contraire une certaine quantité par leur dilatation. Partant de ce principe, quelques personnes ont cru qu'il pourrait être avantageux en plusieurs circonstances, d'employer un vent moins rapide et de

lancer cependant dans les fourneaux la même masse d'air. On a voulu expliquer de cette manière les résultats avantageux qu'on obtient quelquefois en élargissant les buses. Mais les expériences de MM. Gay-Lussac et Walter ont prouvé que l'air expiré dans l'atmosphère par l'orifice d'un vase quelconque, ne produit aucune variation de température. Il faut en conclure que la chaleur dégagée par la compression de l'air échauffe assez le fluide pour rendre insensible le froid produit par la dilatation.

691. Quelque utile que puisse être la détermination du volume d'air fourni par la machine soufflante, sous la pression atmosphérique, pour qu'on obtienne la dose de ce fluide nécessaire à la combustion d'une certaine quantité de charbon, il n'est pas moins intéressant de connaître le degré de compression de l'air, et le volume du fluide comprimé : on pourrait d'ailleurs en déduire facilement le volume sous la densité atmosphérique ; tandis que par la méthode indiquée au paragraphe 687, on ne peut obtenir le volume de l'air condensé, à moins de connaître d'avance la force comprimante. Ajoutons que l'espace nuisible peut introduire de graves erreurs dans ces évaluations : quelle que soit la perfection de la machine, on ne peut l'éviter entièrement ; le piston ne peut jamais s'appliquer tout-à-fait sur le plan fixe ; il existe toujours un certain espace nécessaire au jeu des soupapes, et qui reste rempli d'air.

Soit am (Pl. II, Fig. 7) la volée du piston, mn le point le plus élevé de sa course et $dmnc$ l'espace nuisible qui reste rempli d'air comprimé ; soit $d\mu$ la profondeur à laquelle le piston doit retomber, avant que cet air reprenne la densité atmosphérique. Si l'espace nuisible $dmnc$ n'existait pas, on aurait pour chaque coup de piston un volume d'air $abnm$; mais de ce volume, il

faut déduire $m\mu\nu n$; il ne reste donc que $ab\nu\mu$. Pour déterminer celui-ci, supposons que A soit la surface du piston, h et h' les hauteurs des colonnes d'eau qui feraient équilibre à P et P + p, on aura

$$dm : d\mu :: h : h' \text{*}, \quad \text{et} \quad d\mu = dm \frac{h'}{h}$$

d'un autre côté,

$$m\mu = d\mu - dm = dm\frac{h'}{h} - dm = dm\left(\frac{h'}{h} - 1\right)$$

le volume d'air atmosphérique, chassé par la buse, n'est donc pas $A \times am$, mais

$$A(am - m\mu) = A\left[am - dm\left(\frac{h'}{h} - 1\right)\right]$$

Pour connaître la quantité d'air, qu'en vertu de l'espace nuisible, le soufflet fournit en moins, il faut évaluer d'abord cet espace et déterminer ensuite h' par l'observation **.

Plus les quantités dm et h' sont considérables, plus l'effet de la machine soufflante est diminué. Cette manière de calculer n'est pas la plus avantageuse; l'évaluation de l'espace nuisible peut offrir des difficultés, et quelquefois même elle ne comporte pas la précision requise. Il vaut donc mieux déterminer la vitesse par h', et en déduire le volume d'air.

692. Examinons à présent la relation qui doit exister entre la pression et la vitesse du vent : la force comprimante peut être représentée par une colonne d'eau ou de

---

* Puisqu'on a $P : P + p :: V' : V :: dmnc : d\mu\nu c$ et que les volumes $dmnc$ et $d\mu\nu c$ ayant même base, sont entre eux comme leurs hauteurs, on obtient $dm : d\mu :: P : P + p :: h : h'$. Le T.

** Quel que soit cet espace, on peut toujours, lorsqu'on le connaîtra, le supposer égal à une tranche du cylindre dont l'épaisseur soit représentée par dm. Le T.

mercure, qui fasse équilibre au ressort de l'air *. On sait que cette colonne de mercure est de 76 centim. pour l'air atmosphérique sur la surface du globe : P se déduira de la grandeur de la surface prise pour unité et de la pesanteur du liquide. Il s'ensuit donc que sur un centimètre carré, la pression de l'air est égale à une colonne de de mercure 76 cent. de hauteur et d'un cent. de base.

Si la pesanteur spécifique du mercure est 13,5683, un centimètre cube pesera $0^k,013568$, et le poids de 76 centimètres sera de $1^k,03119$. Nous ferons donc $P = 1^k,0312$, et c'est pour cette pression que $V = 1$ et $D = 1$. En multipliant la pesanteur spécifique du mercure par $0^m,76$ on aura $10^m,312$ pour la hauteur de la colonne d'eau correspondant à la pression de l'atmosphère.

La pression de l'air atmosphérique change d'un lieu à un autre : P est donc une variable et avec lui changent aussi les valeurs D et V ; mais on peut négliger les variations de P, D, V, et considérer ces quantités comme constantes, lorsqu'on veut calculer la pression additionnelle p, la densité et le volume de l'air comprimé, en fonctions de D et V considérés comme unités. Il est évident du reste que pour une même pression p, la densité D' de l'air sortant, doit varier avec P, parce qu'elle dépend de $P + p$.

693. Pour mesurer la pression exercée dans tous les sens par l'élasticité de l'air, on fait usage d'un instrument appelé *pèse-vent*, *ventimètre* ou *manomètre*, qui a beaucoup d'analogie avec le baromètre ; il en diffère seulement en ce que dans celui-ci, la colonne de mer-

---

* Dans les calculs qui vont suivre, nous substituerons aux poids et aux mesures de Berlin, ainsi qu'au pied du Rhin, le kilogramme et le mètres

Le T.

cure doit s'élever dans le vide, tandis que dans le ventimètre, la colonne d'eau ou de mercure est sollicitée d'un côté par la pression de l'air comprimé, et de l'autre par celle de l'air atmosphérique.

Cet instrument se compose d'un tube à deux branches, dont l'une est mise en communication avec le régulateur ou la buse, et l'autre avec l'air extérieur. D'après les lois de l'équilibre, le liquide doit s'abaisser dans la première et remonter dans la seconde (679). Si les deux branches recourbées sont parfaitement cylindriques et d'un même diamètre, le liquide descendra au-dessous du niveau naturel, d'une quantité égale à la moitié de la hauteur de la colonne qui correspond à la pression de l'air, et dans l'autre branche il s'élèvera au-dessus de ce point d'une même quantité. Ces sortes de pèse-vent seraient incontestablement les meilleurs, si l'on pouvait les confectionner avec la précision voulue, parce qu'en commençant à compter du niveau naturel marqué d'un zéro, les divisions de l'échelle indiqueraient avec une parfaite exactitude les demi-hauteurs des colonnes d'eau ou de mercure qui feraient équilibre à la pression.

Si l'on établissait un autre rapport entre les diamètres des branches, il faudrait trouver ces hauteurs par le calcul, ce qu'on tâche d'éviter en faisant l'une des branches très-large par rapport à l'autre; mais alors les hauteurs indiquées sont un peu trop faibles, et le mouvement alternatif de l'eau si gênant pour l'observateur, est plus considérable dans ces sortes de tubes que dans ceux dont les deux branches ont la même largeur, puisque, dans ceux-ci, toutes les variations sont réduites à moitié. La grande difficulté de se procurer des tubes parfaitement égaux et cylindriques, fait donner la préférence aux ventimètres composés d'un vaisseau large mis en communication avec un tube très-étroit, sans être capillaire. Le niveau na-

turel se marque par un zéro, et le tube est gradué dans toute sa longueur; les divisions peuvent indiquer d'un côté les mesures linéaires des colonnes du liquide, et de l'autre la pression ou le poids qui leur correspond pour l'unité de surface.

Lorsque les deux branches du tube recourbé sont de même diamètre, on double le nombre des pouces ou des centimètres, pour obtenir la véritable hauteur de la colonne d'eau.

694. Le ventimètre est un instrument très-simple. Les figures 22, 23, 24 et 25 (Pl. II) en représentent quatre espèces différentes. A (Fig. 24) est un vaisseau assez large, communiquant avec un tube étroit B. Les lignes en A indiquent le mercure qui est comprimé et forcé par l'air de remonter dans le tube B: ce fluide arrive par l'orifice *a*. Les divisions se gravent sur une plaque métallique adaptée au tube; le tuyau *a* communique soit avec le régulateur, soit avec un porte-vent, soit avec une caisse d'air. Pour plus de certitude dans les résultats, on doit le rapprocher le plus près possible de la buse.

Cette espèce de pèse-vent est employée dans les usines royales de la Haute-Silésie, pour les soufflets des hauts fourneaux à charbon de bois et des feux d'affinerie. La boîte A est un cylindre de buis, dont le couvercle étant vissé, peut s'enlever à volonté. Au fond de la boîte se trouve une ouverture cylindrique qui communique par un tuyau de bois dur *a* avec la caisse à air. L'extrémité de ce tuyau est inserrée dans un bouchon de liége ordinaire. Une deuxième ouverture pratiquée sur le côté et au niveau du fond, reçoit une petite pièce cylindrique en buis qu'on y visse. C'est dans cette pièce que se trouve introduit le tube de verre B qu'on mastique hermétiquement. L'échelle s'ajuste ensuite de manière que son zéro

corresponde au niveau naturel. Cette échelle indique d'un côté la pression en hauteur, et de l'autre en poids pour l'unité de surface.

A (Fig. 22) est un vaisseau hermétiquement fermé, recevant par le tuyau *a* le vent qui agit sur la surface du liquide. Un tube B y pénètre sans descendre jusqu'au fond. Ce tube est pourvu d'une échelle qui indique en mesures linéaires les hauteurs des colonnes d'eau correspondant aux diverses pressions.

La troisième espèce de ventimètre, la plus simple dans son usage, se compose d'un tube recourbé (Fig. 23) dont une des branches traverse un bouchon de liège qu'on enfonce dans un trou pratiqué dans le porte-vent, et dont l'autre est pourvue d'une échelle en pouces et lignes, ou centimètres et millimètres; cette échelle, à compter du point o, niveau naturel, indique les moitiés des colonnes de mercure qui font équilibre à la pression.

Le pèse-vent dont on fait usage en Silésie pour les hauts fourneaux à coke, dans les usines royales de Prusse, a beaucoup de ressemblance avec celui de la figure 25. La boîte A est en fonte, le couvercle a une ouverture au centre, on y introduit un bouchon de bois à vis, afin qu'on puisse visiter de temps à autre l'intérieur du vaisseau, sans avoir besoin d'ôter ce couvercle. Enfin le tuyau communiquant avec la caisse à air et traversant le fond du cylindre, est aussi en fer coulé. Le diamètre du cylindre est de 13 centimètres et celui du tube de verre de 5 millimètres.

695. Il est donc facile de trouver à l'aide du ventimètre la pression exercée par l'air dans tous les sens, ou ce qui revient au même, la force p qui fait équilibre à son élasticité. La hauteur de la colonne d'eau ou de mercure est donnée par l'observation; le poids absolu de la colonne

dépend ensuite de l'étendue de la surface et de la pesanteur spécifique du liquide qui sert à mesurer le ressort de l'air.

Si h' indique la hauteur de la colonne de mercure, h celle de l'eau et p la pression par centimètre carré, on aura le tableau suivant :

h' HAUTEUR de la colonne de mercure.	h HAUTEUR de la colonne d'eau.	p PRESSION par centimètre carré.
centim.	centim.	grammes.
1	13,568	13,57
2	27,136	27,14
3	40,704	40,70
4	54,272	54,27
5	67,840	67,84
6	81,408	81,41
7	94,976	94,98
8	108,544	108,54
9	122,112	122,11
10	135,680	135,68
11	149,248	149,25
12	162,816	162,81
13	176,384	176,38
14	189,952	189,95
15	203,520	203,52

696. Pour déterminer par la valeur de h, la vitesse de l'air expiré, on évalue d'abord la vitesse avec laquelle l'air atmosphérique se précipite dans le vide * : soit h la

* Dans les calculs de la vitesse par la pression, on admet qu'un fluide acquiert par la compression que lui fait éprouver une colonne H de ce même fluide, la vitesse qu'il aurait à la fin de sa chute, s'il tombait de la hauteur H. Le T.

hauteur de la colonne de liquide qui fait équilibre à la pression de l'atmosphère, H la colonne d'air d'une densité uniforme, correspondant à h, Δ la densité du liquide et δ celle de l'air atmosphérique. Les hauteurs des fluides qui se font équilibre dans un tube recourbé, étant entre elles dans le rapport inverse de leurs pesanteurs spécifiques, on a

$$H : h :: \Delta : \delta, \quad \text{ou} \quad H = h\frac{\Delta}{\delta}.$$

Les formules de la chute des corps sont

$$H = \frac{gt^2}{2}, \quad V = gt, \quad V = \sqrt{2gH}.$$

Substituant pour H sa valeur $\frac{h\Delta}{\delta}$ on a

$$V = \sqrt{2gh\frac{\Delta}{\delta}}.$$

Supposons maintenant que le thermomètre marque o, et le baromètre 0,76; alors Δ sera, d'après MM. Arago et Biot 10467, δ étant pris pour unité: g est d'ailleurs égal à $9^m,8088$; donc $\sqrt{2gh\Delta} = 395^m,04$. C'est avec cette vitesse que l'air atmosphérique est lancé dans le vide.

Si l'on voulait chercher la vitesse avec laquelle un air comprimé s'écoule dans le vide, il faudrait faire varier h et δ. Supposons que h devienne $h+x$, et δ, $\delta+y$. Substituant ces valeurs dans l'équation $V=\sqrt{2gh\frac{\Delta}{\delta}}$, on aura

$$V = \sqrt{2g(h+x)\frac{\Delta}{\delta+y}},$$

mais on a

$$\delta : \delta+y :: P : P+p :: h : h+x,$$

d'où

$$\delta+y = \delta\frac{h+x}{h},$$

mettant cette expression dans l'équation on aura

$$V=\sqrt{2g(h+x)\frac{\Delta h}{\delta(h+x)}} \qquad (A)$$

ou

$$V=\sqrt{2gh\frac{\Delta}{\delta}}.$$

C'est-à-dire que la vitesse ne change pas.

Ce résultat, quoique fort extraordinaire au premier coup d'œil, s'explique pourtant très-bien, puisqu'on suppose que l'air expiré par la buse a une densité proportionnelle à la pression. Si dans le premier cas la densité est 1 et dans le deuxième m, il passera dans le dernier cas m fois plus d'air par la buse avec la vitesse V due à la pression atmosphérique.

697. Si au lieu d'ouvrir au fluide comprimé un passage dans le vide, on veut le faire écouler dans un espace rempli d'air atmosphérique, la colonne h se faisant équilibre de part et d'autre, doit être supprimée. L'équation

$$V=\sqrt{2g(h+x)\frac{\Delta}{\delta+y}}$$

deviendra alors $\quad V=\sqrt{2gx\frac{\Delta}{\delta+y}}$

et $\frac{\Delta}{\delta+y}$ restera toujours égal à

$$\frac{\Delta h}{\delta(h+x)}=\frac{\Delta P}{\delta(P+p)}=\frac{\Delta P}{P+p}, \text{ si } \delta=1,$$

donc

$$V=\sqrt{2gx\Delta\frac{P}{P+p}}=\sqrt{2gx\Delta\frac{h}{h+x}},$$

x désignant la hauteur de la colonne d'eau qui fait équilibre à la pression additionnelle, indépendante de celle de l'atmosphère. Pour $h=10^{m},312$, $x=0$ et $p=0$ et

$$\frac{P}{P+p}=\frac{P}{P}=1.$$

Pour $h = 12^m,312$, $x = 2^m$,

$$\frac{h}{h+x} = \frac{10^m,312}{10^m,312+2} = \frac{10^m,312}{12^m,312} = 0,83.$$

Au reste les pressions $P = 1^k,0312$, et $p = 0^k,2$ pour $x = 2$ mètres (695), substituées dans l'expression $\frac{P}{P+p}$ donneront, comme les hauteurs des colonnes, la fraction $\frac{1,0312}{1,0312+0,2} = 0,83$.

La quantité P ou h n'est pas constante, elle change avec les lieux et les variations de l'atmosphère : il faut donc, dans chaque cas particulier, la déterminer par la hauteur du baromètre.

698. Si, d'après la méthode indiquée au paragraphe 687, on avait trouvé la vitesse de l'air expiré, il faudrait la diviser par la densité $\frac{P+p}{P}$, pour avoir la vitesse réelle donnée par la formule

$$V = \sqrt{2gx\Delta\frac{P}{P+p}},$$

et réciproquement, V étant connu, il faudrait le multiplier par cette quantité, pour avoir la vitesse de l'air ramené à la densité de l'atmosphère.

Pour $x = 2^m,50$,

$$V = \sqrt{2gx\frac{\Delta P}{P+p}} = 177^m,6,$$

c'est la vitesse de l'air comprimé ; sa densité est alors

$$\frac{P+p}{P} = \frac{h+x}{h} = \frac{12^m,812}{10^m,312} = 1,242$$

et c'est par ce nombre qu'il faudrait multiplier $177^m,6$ pour avoir la vitesse qui conviendrait à un air expulsé avec une densité atmosphérique, et qui dans ce cas, serait égal à $220^m,5792$ par seconde.

699. Connaissant la vitesse de l'air comprimé, il est facile d'en déduire son volume : si a représente l'ouverture de la buse et Q le volume, on a pour chaque seconde $Q = av$. Dans le tableau suivant x est la hauteur de l'eau indiquée par le ventimètre et exprimée en pieds du Rhin (c'est à l'aide de cette hauteur qu'on peut calculer aussi la résistance opposée à la force motrice); d la densité qui correspond à x, celle de l'air atmosphérique étant $= 1$; r le rapport des volumes, celui dont la densité $= 1$ étant pris pour unité; v la vitesse du vent; av le volume d'air comprimé qui s'échappe, à chaque seconde, par la buse, dont l'ouverture est égale à 1 pouce carré du Rhin; v' la vitesse avec laquelle la même quantité serait expulsée, si elle conservait la densité de l'atmosphère, et av' le volume d'air fourni par seconde sous la densité $= 1$, celle de l'eau étant 800.

x.	d.	r.	v. Pieds.	$a.\ v$. pieds cub.	v'. Pieds.	$a.\ v'$. Pieds cub.
pied. pouc.						
1 — 6	1,047	0,955	268	$1,\frac{1488}{1728}$	280	$1,\frac{1632}{1728}$
2 — 0	1,062	0,941	306	$2,\frac{126}{1728}$	324	$2,\frac{392}{1728}$
2 — 6	1,078	0,928	340	$2,\frac{624}{1728}$	366	$2,\frac{936}{1728}$
3 — 0	1,094	0,914	370	$2,\frac{984}{1728}$	404	$2,\frac{1392}{1728}$
3 — 6	1,109	0,901	396	$2,\frac{1296}{1728}$	438	$3,\frac{72}{1728}$
4 — 0	1,125	0,888	420	$2,\frac{1584}{1728}$	472	$3,\frac{480}{1728}$
4 — 6	1,014	0,877	444	$3,\frac{144}{1728}$	506	$3,\frac{878}{1728}$
5 — 0	1,156	0,865	464	$3,\frac{384}{1728}$	536	$3,\frac{1248}{1728}$
6 — 0	1,188	0,842	302	$3,\frac{840}{1728}$	596	$4,\frac{240}{1728}$
7 — 0	1,219	0,082	534	$3,\frac{1224}{1728}$	650	$4,\frac{880}{1728}$
8 — 0	1,025	0,080	566	$3,\frac{1608}{1731}$	706	$4,\frac{1560}{1782}$ *

* La première édition de cette traduction contenait un tableau semblable,

700. On a calculé les valeurs d, r, v, etc., en prenant la densité de l'air atmosphérique pour unité : elles doivent donc varier avec la situation de l'atmosphère.

---

que nous avions calculé en mesures métriques ; mais nous l'avons supprimé, persuadé que des tableaux de ce genre ne peuvent qu'induire en erreur : on est obligé, dans chaque cas, de recourir à la formule $V=\sqrt{2gx\frac{\Delta h}{h+x}}$; mais pour qu'on puisse s'en servir avec commodité et exactitude, nous allons lui donner une forme tout autre. Rappelons seulement que Δ exprime la densité du mercure, celle de l'air ambiant étant égale à 1 (697). Connaissant la densité du mercure par rapport à celle d'un air à 0 degré et à $0^{m},76$ de pression, et cette densité étant, d'après MM. Biot et Arago, $D=10467$, nous chercherons la densité Δ par rapport à un air dont la température est t et la pression h.

L'air se dilate depuis zéro de $0^{m},00375$ de son volume par chaque dègré ; mais, eu égard à l'état hygrométrique de ce fluide, nous supposerons que la loi de la dilatation est de 0,004 par degré, ainsi qu'on le fait dans le calcul des hauteurs par le baromètre. Pour avoir la valeur de Δ, il faut donc qu'on multiplie D par $(1 \pm 0{,}004t)\frac{0^{m},76}{h}$; mais le mercure se dilate lui-même de 0,000185 par degré de température, ce qui oblige de diviser cette quantité par $(1 \pm 0{,}000185t)$, et alors

$$\Delta = D\left(\frac{1 \pm 0{,}004t}{1 \pm 0{,}000185t}\right)\frac{0{,}76}{h}.$$

Substituant cette valeur dans l'équation $V=\sqrt{2gx\frac{\Delta h}{h+x}}$ elle devient

$$V=\sqrt{2gD\left(\frac{1 \pm 0{,}004t}{1 \pm 0{,}000185t}\right)\frac{0{,}76x}{h+x}}.$$

On obtient le volume d'air en mètres cubes sous la pression de l'air ambiant, en multipliant V par la densité $=\frac{h+x}{h}$ et par l'aire de l'orifice d'écoulement ; si donc a représente cette aire, on a

$$Q=\frac{a}{h}\sqrt{2gD.0{,}76\left(\frac{1 \pm 0{,}004t}{1 \pm 0{,}000185t}\right)x(h+x)}.$$

On réduit cet air à la pression de $0^{m},76$, et à 0 de température, en mul-

Pour donner à ces sortes de calculs, la rigueur voulue, il faudrait donc avoir égard non-seulement à la hauteur du baromètre et à celle du thermomètre, mais encore à l'état hygrométique de l'air. Il est possible aussi que l'électricité exerce une certaine influence sur la nature de

---

tipliant Q par $\frac{h}{0,76} \times \frac{1}{1 \pm 0,004t}$, ainsi

$$Q' = \frac{a}{0,76} \sqrt{2gD.0,76 \frac{x(h+x)}{(1 \pm 0,000185t)(1 \pm 0,004t)}}.$$

Effectuons maintenant les calculs indiqués, pour mettre ces équations sous la forme la plus simple. Elles ont toutes en commun le facteur

$$\sqrt{2gD \times 0,76} = 395^{m},04;$$

de plus

$$\frac{1 \pm 0,004t}{1 \pm 0,000185t} = 1 \pm 0,0038t,$$

et

$$\frac{1}{(1 \pm 0,000185t)(1 \pm 0,004t)} = 1 \mp 0,0042t,$$

si l'on néglige le terme t^2 qui est très-petit.

D'après cela la vitesse est

$$V = 395^{m} \sqrt{(1 \pm 0,0038t)\frac{x}{h+x}};$$

la quantité Q exprimée en mètres cubes d'air ambiant est

$$Q = \frac{395^{mcub}}{h} a \sqrt{(1 \pm 0,0038t)\, x(h+x)};$$

la quantité Q' exprimée en mètres cubes d'air qui a une pression de 0,76 et une température 0 est

$$Q' = 519^{mcub},73\, a \sqrt{(1 \mp 0,0042t)\, x(h+x)}.$$

Si l'on voulait obtenir le poids immédiatement, il suffirait de se rappeler qu'un mètre cube d'air à $0^{m},76$ de pression et à 0 degré de température pèse $1^{k},299$ donc

$$Q' \text{ en poids} = 675^{k}\, a \sqrt{(1 \mp 0,0042t)\, x(h+x)}.$$

Ces formules diffèrent très-peu de celles de M. d'Aubuisson, Ann. des Mines, t. II, p. 192. Le T.

ce fluide considéré comme soutien de la combustion; mais nous n'avons aucune donnée à cet égard.

Une machine soufflante, pour la même pression indiquée par le ventimètre et la même ouverture de buse, produira d'autant plus d'effet que l'air atmosphérique aura une plus grande densité ou un moindre volume *. On doit donc, partant d'un point fixe, augmenter ou diminuer l'action des soufflets, selon les variations de l'atmosphère, s'ils doivent donner constamment la même quantité d'air.

On prend pour unités le volume et la densité de l'air à 76 cent. de mercure, à 0 degré de Réaumur et à 0 degré de l'hygromètre; il ne s'agit plus alors que de réduire l'air à cette densité.

Le volume étant en rapport inverse avec la force comprimante, il est facile de faire les rectifications qui sont relatives au baromètre, dont la hauteur indique cette force immédiatement. Si cette hauteur est par exemple de 73 centimètres, le volume s'obtiendra par la proportion $76 : 73 :: 1 . x = 0{,}96$, c'est-à-dire que 1000 mesures d'air atmosphérique sont équivalentes à 960 d'une densité $= 1$.

Il s'ensuit que la hauteur du baromètre doit fortement influer sur l'effet des machines soufflantes qui, par minute, donnent 100 à 140 mètres cubes d'air atmosphérique. Dans un lieu très-élevé, où la hauteur moyenne du baromètre serait de 54^{c}, il faudrait 140 mesures d'air pour remplacer 100 mesures d'une densité$=1$. Si donc on avait deux machines soufflantes parfaitement égales, l'une construite en ce lieu et l'autre sur un point où la hauteur moyenne du baromètre serait de 76 cent., les effets de

* Parce que le ventimètre ne peut indiquer la pression réelle du vent, mais seulement la différence de pression entre l'air extérieur et l'air intérieur. Le T.

ces machines égales sous tous les rapports, seraient pourtant entre eux dans le rapport de 10 à 14. La quantité d'air trouvée par le calcul, doit toujours être ramenée à la densité = 1, afin qu'on ne se trompe pas sur l'effet que produisent les machines soufflantes.

701. L'élasticité des gaz, due probablement au calorique, s'accroît par une augmentation de chaleur. Pour une pression constante, le volume de l'air doit diminuer avec la température, ou, ce qui revient au même, un surcroît de densité doit remplacer une partie de la force élastique. Il s'ensuit que pour une même pression, la masse d'air fournie par une machine soufflante doit augmenter à mesure que la température diminue. Toutes choses égales d'ailleurs, les soufflets produisent bien moins d'effet pendant la chaleur de l'été que pendant l'hiver.

Plusieurs physiciens se sont occupés à déterminer la dilatation de l'air atmosphérique. Les expériences les plus récentes et les plus positives sont dues à M. Gay-Lussac : il en résulte que tous les gaz se dilatent des $0^{m},375$ de leur volume, en passant de 0 à 100 degrés, ce qui fait 0,00375 par degré. Si donc le volume à 0 degré = 1, il sera à $\pm n$ degrés $= 1 \pm 0{,}00375n$ et l'expression de la densité sera $\frac{1}{1 \pm n \times 0{,}00375}$. Pour réduire à la densité = 1 le volume d'air trouvé par le calcul, il faut donc le multiplier par $\frac{1}{1 \pm n \times 0{,}00375}$. Une machine soufflante qui fournirait par minute 65 mètres cubes d'air, à la température de 20° du thermomètre, n'en donnerait réellement que $\frac{65}{1 + 20 \times 0{,}00375} = 60$ du degré de température = 0, tandis que par un froid de 12° au-dessous de zéro, 65 mètres cubes en valent $\frac{65}{1 - 12 \times 0{,}0044675}$

= 68 cubes. Il résulte de cet exemple, que la température doit produire de fortes modifications dans l'effet des machines soufflantes. Il n'est point rare d'avoir des chaleurs de 20° et des froids de 12. Les variations dans la quantité d'air fourni par des soufflets qui peuvent en donner 65 mètres cubes par minute, seraient, d'un de ces points à l'autre, de 8 mètres cubes *. On devrait donc, si la chose était possible, renforcer le mouvement des pistons en été, puisque le vent doit exercer une action constante sur les combustibles **.

Si la dilatation des gaz est de 0,00375 par degré centigrade, elle sera de 0,004687 par degré de Réaumur. En faisant usage de ce thermomètre on devra donc multiplier les valeurs obtenues par $\frac{1}{1 \pm n \times 0{,}004687}$.

Les variations dans la température et dans la hauteur du baromètre sont peu sensibles, si les soufflets sont petits et si les charbons brûlent avec facilité; mais elles produisent quelquefois les effets les plus surprenans dans les hauts fourneaux alimentés avec du coke compacte et activés par de fortes machines soufflantes.

702. Enfin, il faudrait examiner encore quelle est l'influence de l'humidité de l'air sur sa densité; mais ne connaissant pas l'état dans lequel se trouvent les vapeurs aqueuses qui agissent sur l'hygromètre, nous ne pouvons rien statuer sur cette question. M. Schmidt a dirigé vers cet objet, de nombreuses recherches; mais il ne résulte point de loi constante de ses expériences: elles paraissent néanmoins prouver que pour les températures ordinaires jusqu'à 30° au plus, l'air humide n'occupe pas beaucoup

* Près d'un septième de la masse totale.

** Voyez pour ces diverses rectifications la note que nous avons ajoutée au paragraphe 699. Le T.

plus de volume que l'air sec; que d'ailleurs, la dilatation va en augmentant avec les degrés d'humidité. Voici une table calculée par M. Schmidt.

DEGRÉS du thermomètre de RÉAUMUR.	DEGRÉS DE L'HYGROMÈTRE CENTIGRADE.						OBSERVATIONS.
	10° volumes.	20° volumes.	40° volumes.	60° volumes.	80° volumes.	100° volumes.	
0	1,00000000	1,0000000	1,0000000	1,0000000	1,0000000	1,0000000	La masse d'air est constante.
5	1, 0225607	1,0227839	1,0232303	1,0236767	1,0241231	1,0245696	
10	1, 0453911	1,0461072	1,0475394	1,0489716	1,0504038	1, 051836	
15	1, 9683482	1,0696839	1,0723553	1,0750267	1,0776981	1,0803695	
20	1, 0915171	1,0938843	1,0994186	1,1029529	1,1074872	1,1120215	
25	1, 1152503	1,1188132	1,1259389	1,1330646	1,1401903	1,1473161	
30	1, 1392964	1,1445678	1,1551127	1,1656536	1,1761964	1,1867393	

703. Il suffira, dans le plus grand nombre des cas, de faire les rectifications relatives à la température et à la hauteur du baromètre. Pour ce qui est de l'humidité, nous devons attendre qu'on ait trouvé à cet égard, une règle certaine. Lorsqu'il s'agit donc de communiquer au fourneau des quantités égales de vent, toute la force motrice ne doit pas être employée durant l'hiver; c'est pendant l'été que les coups de piston ou de volant doivent se succéder avec le plus de rapidité *.

704. Nous devons tenir compte aussi de la contraction que la veine fluide éprouve en s'écoulant par un orifice. Cette contraction dépend de l'adhésion de l'air aux parois du tuyau, de la forme et de la grandeur de l'orifice d'écoulement.

On doit à M. Koch plusieurs expériences intéressantes sur cet objet. Si V' est la vitesse réelle trouvée par l'expérience et non par le calcul, et si A représente une constante, on aura d'après M. Koch:

$V' = 7,5 \times A$ pour l'écoulement par des orifices pratiqués dans des plaques minces.

$V' = 9,3 \times A$ pour l'écoulement par des orifices de tuyaux courts et cylindriques.

$V' = 10,84 \times A$ pour l'écoulement par des orifices de tuyaux courts et coniques, la petite ouverture étant tournée vers le dehors.

$V' = 10,4 \times A$ pour l'écoulement par des orifices cylindriques qui se terminent en cônes, la petite ouverture tournée en dehors. Supposé toutefois que la longueur du cylindre soit de 10 à 120 fois aussi grande que le diamètre de la grande base du cône.

$V' = 10,1 \times A$ pour l'écoulement par des orifices cylindriques terminés en cône et dont la longueur du cylindre est de 120 à 240 fois aussi grande que le diamètre de la grande base du tronc de cône.

* Nous renvoyons encore pour toutes les rectifications à la note du paragraphe 699. Le T.

M. Schmidt a aussi cherché à déterminer le coefficient qui, eu égard à la contraction de la veine fluide, doit être introduit dans la formule

$$V = \sqrt{2gh \Delta \frac{P}{P+p}} \,*.$$

Si V est la vitesse calculée d'après la hauteur h, et si V' est la vitesse réelle, on aura, d'après les expériences de M. Schmidt,

$V' = 0{,}52 \times V$ si l'air s'écoule par une ouverture pratiquée dans une plaque mince.

$V' = 0{,}56 \times V$ à $0{,}69 \times V$ si l'air s'échappe par un tuyau cylindrique. De petites pressions ou de longs tuyaux donnent des coefficients plus petits qu'on n'en obtient par de fortes pressions et des tuyaux courts.

$V' = 0{,}70 \times V$ à $0{,}74 \times V$ pour des tuyaux coniques dont la petite ouverture est tournée en dehors.

$V' = 0{,}83 \times V$ à $0{,}88 \times V$ pour des tuyaux coniques dont la grande ouverture est tournée en dehors.

Puisque les buses des machines soufflantes sont des tuyaux coniques dont la petite ouverture est tournée en dehors, il faudrait affecter à l'expression $Q = adv$ le coefficient 0,74, si toutefois il était exacte; mais il paraît beaucoup trop faible. Des calculs faits sur la quantité de vent fournie par de fortes machines soufflantes semblent le prouver. Au reste on doit avouer que faute d'expériences concluantes, on n'est pas encore parvenu à calculer exactement l'effet des machines soufflantes, d'après les hauteurs données par le pèse-vent. Les valeurs obtenues par la for-

* Il est presque superflu de dire qu'au lieu de l'expression $V = \sqrt{2gh \Delta \frac{P}{P+p}}$ on doit prendre la formule

$$V = 395^{m} \sqrt{(1 \pm 0{,}00381) \frac{x}{h+x}}$$

que nous avons donnée précédemment. (Voyez la note du paragraphe 699.)

mule $Q=adv$, ne peuvent donc servir que comme rapports; elles n'indiquent pas des effets absolus.

Les expériences les plus récentes sur la détermination du coefficient dont il faut affecter l'expression $Q=adv$, eu égard à la contraction de la veine fluide, sont dues à M d'Aubuisson. Les valeurs obtenues sont :

0,65 pour l'écoulement de l'air par de petites ouvertures pratiquées dans une plaque mince.
0,93 pour des tuyaux ou ajutages cylindriques courts.
0,94 pour des ajutages courts et légèrement coniques.

M. d'Aubuisson remarqua aussi que la longueur des tuyaux exerçait une influence très-sensible sur la grandeur du coefficient. Un tuyau cylindrique lui donna les résultats suivants :

Longueur du tuyau.	Coefficient.
0,022.	0,927.
0,045.	0,924.
0,160.	0,832.
0,325.	0,738.

Cette décroissance des coefficients avec l'augmentation de la longueur des ajutages est plus grande qu'on ne pouvait l'attendre. Voici du reste, d'après M. d'Aubuisson, la formule sur le mouvement des fluides dans les porte-vent :

$$h=\frac{Hd}{0{,}024l+d}$$

H étant la hauteur du manomètre à l'entrée du porte-vent,
h celle à la sortie, c'est-à-dire celle qui est due à la vitesse de sortie,
l la longueur de la conduite,
d son diamètre.

Cet auteur pense que dans les opérations métallurgiques on peut admettre pour coefficient de la valeur $Q=adv$, le nombre 0,94, de sorte que la réduction est seulement

de 6 p. %; mais il serait à désirer que cette donnée fût vérifiée sur de fortes machines soufflantes *.

705. Les machines les plus simples produisent en général le plus d'effet; elles absorbent moins de force par le frottement : les trompes comparées aux autres soufflets font une exception à cette règle, probablement parce que la colonne d'eau n'entraîne pas, dans sa chute, de l'air dont la densité est égale à celle de l'atmosphère. Dans les machines soufflantes, la quantité de travail obtenue, ou l'effet utile, s'estime ordinairement par le nombre des mètres cubes d'air obtenus dans un temps donné, multipliés par la hauteur de la colonne liquide qui fait équilibre à la pression, et par la densité du liquide; tandis que la quantité d'action dépensée s'estime par la hauteur de la chute multipliée par le nombre des mètres cubes d'eau sortis du pertuis dans un temps donné et par la densité de l'eau. Cette manière de procéder est très-arbitraire, mais elle peut servir à comparer entre eux les effets des machines soufflantes **. En tous cas, on doit indiquer le moyen qui

* Ce coefficient deviendrait peut-être plus grand, si la buse était très-large, comme celle par exemple qu'on emploie pour des hauts fourneaux de grandes dimensions. Affecté aux équations que nous avons données en note, page 77, il les change de la manière suivante:

La vitesse V sera. . . . . . . $V = 371^{m} \sqrt{(1 \pm 0{,}0038t)\frac{x}{h+x}}$.

La quantité d'air à la densité de l'atmosphère

ambiante sera . . . . $Q = 371^{mcub} \frac{a}{h} \sqrt{(1 \pm 0{,}0038t)\, x\,(h+x)}$.

La quantité d'air réduit à la pression de $0^{m},76$ et à

la température 0 sera. . . . $Q' = 489a\sqrt{(1 \pm 0{,}004t)\, x\,(h+x)}$.

Q en poids sera égal à . . . . $635a\sqrt{(1 \mp 0{,}004t)\, x\,(h+x)}$.

Le T.

** Il n'y a rien d'arbitraire dans cette manière de compter les quantités d'action. Le poids de l'eau sortie du pertuis pendant une seconde, mul-

a été employé pour déterminer le volume : en général il vaut mieux calculer la vitesse V par la pression, afin d'éviter les nombreuses erreurs occasionnées par les fuites d'air et par l'espace nuisible.

Le véritable effet utile ne peut encore se déterminer avec une exactitude rigoureuse (704). Quand il ne s'agit que de comparaisons, on est dispensé de multiplier la formule $Q = av$, avec le coefficient de contraction. Soit k le volume d'eau passant dans une minute par le pertuis, i la hauteur de chute, et p la densité de l'eau ; ikp sera la quantité d'action dépensée : soit h, la hauteur de la colonne d'eau qui ferait équilibre à la pression de l'air, hpQ sera l'effet utile. Faisons $ikp = nhpQ$, n étant un coefficient variable ; il est clair que plus n est petit dans l'équation $nhQ = ik$ ou $Qh = \frac{1}{n} ik$, ou enfin $\frac{Qh}{ik} = \frac{1}{n}$, plus l'effet utile sera grand ; $\frac{1}{n}$ donne par conséquent l'effet utile exprimé en parties de la quantité d'action dépensée, prise pour unité. La détermination de k et celles de Q sont difficiles. Ajoutons que l'effet utile d'une même machine soufflante peut varier avec la grandeur a. Cette dernière circonstance n'influe au reste que sur la détermination du maximum d'effet que peut produire une machine soufflante donnée.

Le soufflet à chaînette, qui se trouve dans les usines de Sollinger, présente, d'après M. Koch, un effet utile de 48 p. %. La hauteur de la chute est de $19^{\text{pieds}},25$; la dé-

tiplié par la hauteur de la chute, indique la quantité de travail dépensée ; tandis que la hauteur du pèse-vent multipliée par la densité du liquide qu'il renferme, et par l'aire de l'orifice de la buse, représente l'effort produit, qui multiplié par le chemin parcouru dans une seconde ou par la vitesse, est évidemment la quantité de travail obtenue : soit h la hauteur marquée par un pèse-vent à eau, p la densité de ce liquide et a l'aire de l'orifice de la buse ; la quantité de travail obtenue sera $ahpv$, et cette quantité est égale à Qhp, Q étant le volume d'air comprimé. Le T.

pense d'eau par minute a été fixée à $93^{ppp},8$; la quantité d'air fournie a $426^{ppp},8$ de la densité atmosphérique et faisant équilibre à la pression d'une colonne d'eau de $2^{p},05$. Ces nombres soumis à la formule précédente, donnent l'équation

$$\frac{426,8 \times 2,05}{93,8 \times 19,25} = 0,48.$$

Les soufflets à piston en bois dépassent rarement un effet utile de 25 p. °/₀, cette expression étant prise dans le sens qu'elle a reçu précédemment. On peut ajouter que les machines soufflantes en fonte qui donnent le nombre 48, sont déjà très-bonnes.

706. Pour terminer, nous donnerons la description et le calcul de l'effet d'une machine soufflante établie aux usines royales de Lohe, près de Siegen. Ces calculs nous ont été communiqués par M. Althans, constructeur de cette machine. Les figures 1, 2, 3, Pl. III, présentent le plan, l'élévation et une coupe de cette machine. Les figures 4 et 5, dessinées sur une échelle de 1 pour 4, indiquent la manière dont la tige du piston est liée au parallélogramme.

Des tamis de laiton extrêmement fins *b*, *b*, recouvrent les soupapes, pour empêcher qu'il ne s'y introduise des insectes.

Cette machine soufflante composée de deux cylindres à double effet, est mise en mouvement par une roue hydraulique allant par dessus. Sur l'axe de cette roue sont établies deux roues dentées, communiquant le mouvement à deux autres roues qui font fonction de manivelles; les tiges des pistons sont assujéties aux balanciers par des parallélogrammes, etc.

En sortant des caisses d'air, le vent est conduit dans un tuyau de $9^{m},40$ de longueur et de 26 centimètres de

diamètre jusque vers le milieu du haut fourneau, d'où il se rend aux buses par deux autres tuyaux qui ont 7^m,50 de longueur et 18 centimètres de diamètre *, et qui à leur embranchement sont pourvus de plaques au moyen desquelles on peut modérer ou intercepter le courant d'air.

L'orifice de l'une des buses présentait, en mesure de Prusse, une surface de 1,66 pouces carrés, la bouche de l'autre avait 1,54 pouces carrés en somme 3,2 pouces carrés ou 22 centimètres carrés. Voici au reste les dimensions principales de la machine :

1° L'abaissement de la roue hydraulique au-dessous du centre du pertuis est de 0,4 pieds (0^m,125);

2° Le diamètre de la roue hydraulique est de 19 pieds (5^m,96), et sa largeur dans œuvre de 2^p - 9° ou de 0^m,86;

3° Les grandes roues dentées ont 9 pieds 4 pouces de diamètre (2^m,92), et sont pourvues de 80 dents faites en bois d'aubépin et ayant 6 pouces de largeur (15^c,69);

4° Les petites roues dentées ont 3 pieds 6 pouces de diamètre (1^m;10), et sont munies de 30 dents en fer ayant 6 pouces de largeur;

5° Le cercle décrit par le point d'attache de la bielle a 4 pieds (1^m,25) de diamètre;

6° Chaque bielle a 8 pieds 9 pouces de longueur du centre de l'un des points d'attache à celui de l'autre (2^m,745);

7° Les deux balanciers en fonte ont 12 pieds de longueur, mesurés entre les centres des points d'attache (3^m,76);

8° Les cylindres ont dans œuvre 27 pouces de diamètre (0^m,70) et 4 pieds de hauteur (1^m,25). Les plateaux laissent entre les deux fonds un demi pouce de jeu;

---

* Nous conseillons aux constructeurs des hauts fourneaux, de donner aux porte-vent un plus grand diamètre, surtout lorsque ces tuyaux doivent avoir une longueur considérable. En Angleterre, on leur donne le plus souvent 60 à 75 centimètres de diamètre.

9° La levée du plateau est de $47^p,5$ ($1^m,242$). La capacité du cylindre est donc égale à $47,5 \times 572,265 = 15,725$ pieds cubes ou $0^{mcub},485$.

Le tableau suivant présente les résultats de 12 observations successives faites avec le plus grand soin.

NUMÉROS des observations.	HAUTEUR de l'eau devant le pertuis.		HAUTEUR de l'ouverture du pertuis.	TOURS de la manivelle par 5 minutes.	HAUTEURS du mercure maxima et minima.	
	pieds	pouces	pouces		pouces	lignes
1	4	$5 \frac{3}{4}$	$\frac{2}{8}$	35	0 1	6 6
2	4	$5 \frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$	$41 \frac{1}{4}$	0 1	10 11
3	4	$5 \frac{1}{4}$	$\frac{4}{8}$	45	1 2	0 5
4	4	5	$\frac{5}{8}$	51	1 2	5 9
5	4	5	$\frac{6}{8}$	55	1 3	7 2
6	4	5	$\frac{7}{8}$	60	1 3	9 6
7	4	$4 \frac{3}{4}$	1	62	1 3	11 9
8	4	$4 \frac{1}{2}$	$1 \frac{1}{8}$	64	2 4	1 1
9	4	$4 \frac{3}{4}$	$1 \frac{2}{8}$	68	2 4	5 4
10	4	5	$1 \frac{3}{8}$	70	2 4	6 6
11	4	$4 \frac{1}{4}$	$1 \frac{4}{8}$	73	2 4	8 8
12	4	4	$1 \frac{5}{8}$	75	2 5	10 5

Nous remarquerons

1° Que le vent donnait en plein air;

2° Que la largeur du pertuis était de 29 pouces $\frac{1}{4}$ ($0^m,76$);

3° Que chaque révolution de la petite roue dentée fournit $4 \times 15,7 = 62,8$ ppp d'air, déduction faite de la perte que produit l'espace nuisible pour une pression de 1 livre par pouce carré;

4° Que pour le calcul on devra prendre la moyenne entre les deux hauteurs du mercure *.

Lorsque le fourneau a été mis en activité, la pression était de 1 pouce 4 lignes de mercure.

Nous observerons en général qu'on n'aurait pas besoin de régulateur, si l'on construisait les machines de manière à leur donner une grande vitesse, comprise toutefois dans les limites voulues, c'est-à-dire un coup par seconde. De plus ces machines deviennent alors plus petites, moins chères et occasionnent moins de frottement.

Calculs de l'effet de la machine, d'après les données ci-dessus indiquées.

Soit h' la hauteur de l'eau dans le réservoir, mesurée au pertuis, et $h' + 1^p,25 = h$: $1^p,25$ est la petite chute de l'eau sortant du pertuis et tombant dans l'auge. Soit b l'aire de l'orifice d'écoulement, le volume d'eau passant par cette ouverture sera $ab\sqrt{h'} = M = 7.b.\sqrt{h'}$, rectification faite par le coefficient de contraction **.

Soit de plus $H = h' + 19,4$ la hauteur totale de la chute; γ le poids d'un pied cube d'eau; Q la quantité de vent fournie par minute ou bien $\frac{1}{60}$ Q celle qui est fournie par seconde; P la pression de cet air représentée par une colonne d'eau dont la hauteur est exprimée en pieds.

---

* Les oscillations dans la colonne du mercure étaient extrêmement fortes, puisqu'à la première observation elles variaient entre 6 et 18 lignes, à la seconde entre 10 et 23, à la troisième entre 12 et 29, etc. On ne peut l'attribuer qu'à l'absence d'un régulateur.

** Nous n'avons pas jugé nécessaire de convertir ces nombres en quantités métriques. L'auteur a d'ailleurs omis de donner le coefficient de contraction pour l'eau; on peut seulement inférer de l'équation $M = 7b\sqrt{h'}$ que ce coefficient a dû être 0,88; g paraît être dans ces calculs 31,25 pieds. Le T.

La quantité d'action obtenue sera donc $\frac{1}{60}$ QPγ; et d'après la position du pertuis, la quantité de travail agissant sur la roue est pour cette machine

$$(\mathrm{H} - \tfrac{3}{5}h)\,\mathrm{M}\gamma \;\star.$$

Si l'on suppose maintenant que la première de ces quantités est à la deuxième comme X : 1, on aura

$$\mathrm{X} = \frac{\frac{1}{60}\mathrm{PQ}\gamma}{(\mathrm{H} - \frac{3}{5}h)\mathrm{M}\gamma} = \frac{\mathrm{PQ}}{60\,(\mathrm{H} - \frac{3}{5}h)\,\mathrm{M}}$$

X est donc une fraction qui indique la quantité d'action obtenue, si la quantité d'action employée sur la roue, est prise pour unité.

En substituant dans ces formules les valeurs indiquées dans le tableau qui précède, on obtient les résultats suivants :

NUMÉROS.	h' Pieds linéaires.	$\sqrt{h'}$ Pieds linéaires.	b Pieds carrés.	M Pieds cubes.	$\frac{3}{5}h$ Pieds.	H — $\frac{3}{5}h$ Pieds.	Q Pieds cubes d'air.	P Pieds linéaires.	Valeurs de X.
1	4,479	2,11	0,05068	0,7478	3,437	20,442	439,60	1,1666	0,588
2	4,458	2,11	0,07603	1,1221	3,424	20,434	518,09	1,6041	0,60
3	4,437	2,10	0,10137	1,4954	3,412	20,425	565,20	1,9930	0,61
4	4,416	2,10	0,12671	1,8628	3,399	20,417	640,56	2,4305	0,68
5	4,416	2,10	0,15206	2,2356	3,399	20,417	690,80	2,7708	0,69
6	4,416	2,10	0,17740	2,6077	3,399	20,417	753,60	3,0625	0,72
7	4,395	2,09	0,20274	2,9760	3,387	20,408	778,70	3,3055	0,706
8	4,375	2,09	0,22809	3,3371	3,375	20,400	803,84	3,5972	0,707
9	4,395	2,09	0,25342	3,7072	3,387	20,408	854,08	3,7916	0,713
10	4,416	2,10	0,27877	4,0977	3,399	20,417	879,20	4,0833	0,715
11	4,354	2,08	0,30412	4,4276	3,362	20,392	916,88	4,2777	0,72
12	4,333	2,08	0,32946	4,7960	3,349	20,284	942,00	4,7152	0,76

* Il est évident que $(\mathrm{H} - \frac{3}{5}h)\,\mathrm{M}\gamma$ représente seulement la quantité de travail agissant sur la roue; tandis que toute la quantité de travail dépensée est HMγ, et c'est cette dernière qu'il faudrait prendre en considération, si l'on voulait comparer les résultats obtenus avec ceux que donnent les trompes ou les soufflets à chaînettes. Le T.

Il résulte de ces calculs que la valeur X, ou le rapport de la quantité de travail obtenue à la quantité de travail depensée, a été d'autant plus petit qu'il est sorti moins d'eau du pertuis. Tant que cette valeur va croissant, la machine n'a pas encore atteint la vitesse voulue.

Il est probable que par suite d'un défaut d'exactitude dans les observations de la sixième expérience, on a obtenu pour X un résultat trop fort qui présente une anomalie.

Dans ces calculs on a diminué H de $\frac{3}{5}h$ pour tenir compte de la perte inévitable, occasionnée par l'emploi des roues hydrauliques et due à la hauteur de l'eau dans le réservoir et à la distance du pertuis aux auges de la roue. Si l'on voulait négliger cette perte, afin d'obtenir un résultat comparable à celui que donnerait une machine soufflante qui n'aurait point de roue hydraulique, il faudrait faire

$$X = \frac{QP}{60HM} \text{ *}.$$

Si l'on substitue dans cette expression les données relatives à la onzième expérience, on obtient $X = 0,62$, et par les données de la douzième, on aurait $X = 0,65$.

Ces calculs font voir que l'effet produit par une bonne machine soufflante en fonte surpasse de beaucoup l'effet d'un soufflet à chaînette **.

---

* Voyez la note précédente que nous avons ajoutée à ce paragraphe. Le T.

** La manière dont on a opéré, pour calculer l'effet de la machine soufflante de Lohe, ne permet pas de tirer une pareille conclusion. Quand on veut comparer des machines soufflantes aux trompes ou aux soufflets à chaînette, il faut non seulement qu'on prenne la hauteur entière de la chute H pour la multiplier par M, mais aussi qu'on détermine la quantité Q dans l'un et dans l'autre cas de la même manière. Or cette quantité ne se trouve pour les trompes, que par la pression de l'air et par l'ouverture de la buse, et au moyen des formules que nous avons données en note au paragraphe 699, c'est ce procédé qu'il fallait employer; tandis qu'on a multiplié la capacité du cylindre par le nombre des coups de

707. La vitesse du vent doit être réglée d'après la nature du combustible : supposons qu'elle soit connue pour chaque espèce de charbon, alors la quantité de ce combustible

---

piston fourni dans un temps donné, méthode qui est très-vicieuse par les raisons qui ont été données plusieurs fois dans cet ouvrage. Le résultat obtenu a dû être beaucoup trop fort : on le prouverait exactement, si l'auteur avait indiqué la situation de l'atmosphère telle qu'elle était pendant les opérations. Cependant, comme nous ne pouvons trop prémunir nos lecteurs contre cette manière de procéder, nous allons déterminer la quantité Q pour la 11me opération, en raisonnant par hypothèse : nous supposerons que le baromètre marquait $0^m,76$ et le thermomètre $12°$; d'ailleurs l'aire de l'orifice de la buse est de 22 centimètres carrés, et pour la 11me opération la hauteur moyenne du pèse-vent $= 3° - 8^l$ du Rhin $= 0^m,096$. La formule

$$Q = 395^{mcub} \frac{a}{h} \sqrt{(1 \pm 0,0038t)\, x\, (h + x)}$$

deviendra donc

$$Q = 519,73 \times 0,0022 \sqrt{1,046 \times 0,096 \times 0,856}.$$

Effectuant ces calculs et multipliant Q par 60 pour obtenir la quantité de vent par minute, on a $Q = 20^{mcub},12$; mais le tableau indique Q $= 916^{pc}$ qui réduits en mètres font 28,31. Ce résultat serait donc plus que le quart trop fort, ainsi qu'il était facile de le prévoir.

Réduisant $Q = 20^{mcub},12$ en pieds de Prusse, on a 654 ppp. qui, substitués dans la formule $X = \frac{PQ}{60(H - \frac{3}{5}h)M}$, donnent $X = 0,51$ et, si pour comparer l'effet produit à celui d'une machine soufflante sans roue, on emploie la formule $X = \frac{PQ}{60\,HM}$, on n'obtient que 0,44 pour la valeur de X ; tandis que l'auteur trouve pour ce cas 0,62 et dans le tableau précédent, pour la 11me opération, la valeur de X est portée à 0,72. Remarquons encore qu'en évaluant Q nous avons négligé de faire usage du coefficient de contraction, bien que ce coefficient ait été employé pour la détermination de M. Si l'on faisait la correction relative à cet objet, et qu'on prît le coefficient même le plus élevé, 0,94 par exemple, les quantités 0,51 et 0,44 se trouveraient réduites à 0,48 et 0,414. On voit donc qu'en comparant les effets des machines soufflantes, on tomberait dans les plus graves erreurs si les calculs ne se faisaient pas de la même manière. Il est presqu'inutile de faire observer que la for-

qui, dans un temps donné, brûle avec la rapidité convenable, ne dépend plus que du volume d'air lancé dans le fourneau; et en augmentant ce volume, on doit augmenter aussi la masse des produits.

Selon les expériences d'Allen et Pepys, il faut 251,63 parties d'oxigène pour brûler 100 parties pondérées de charbon et le transformer en gaz acide carbonique. Cette donnée peut être admise, eu égard aux cendres contenues dans les charbons. Si ce combustible était parfaitement pur, il faudrait, pour en brûler 100 parties, 265,5 parties d'oxigène. Il paraîtrait d'après cela, que le volume d'air nécessaire pour brûler dans un temps fixe, une certaine quantité de charbon, et la force que devrait avoir la machine soufflante, peuvent se déterminer avec facilité; mais ces sortes de calculs laissent encore beaucoup d'incertitude dans les résultats: 1° parce qu'on suppose que tout le charbon est converti en acide carbonique et non en gaz oxide de carbone, ce qui n'est ni prouvé, ni même vraisemblable; 2° parce qu'on ne fait pas entrer en considération la dose si variable d'oxigène contenu dans les minérais, bien qu'elle serve à brûler une partie de charbon.

Les résultats fournis par le calcul seraient donc trop forts; il faudrait en soustraire une assez grande quantité d'air, si d'un côté, l'espace nuisible, et de l'autre, le vent perdu qui, dans les caisses en bois, s'échappe par les joints et les conduits et dont une partie même reflue de la tuyère au dehors, ne diminuaient pas la masse d'air qui devrait entrer dans le fourneau. Ces défectuosités inhérentes à tous les soufflets, compensent à un certain point les erreurs attachées à la manière d'opérer. Il s'en-

---

mule $X = \frac{PQ}{60(H - \frac{5}{8}h)M}$ pourrait aussi servir pour des soufflets à chaînette, puisqu'elles ont des roues: on emploie l'une ou l'autre formule selon le but qu'on se propose. Le T.

suit que la machine soufflante ne sera pas trop grande, si elle reçoit les dimensions données par le calcul.

Il faudrait aussi faire une déduction relativement aux cendres contenues dans les charbons; mais on doit négliger également cette considération, parce qu'il vaut mieux rendre la machine un peu trop puissante que de tomber dans le défaut opposé.

708. Le poids d'un mètre cube d'air atmosphérique est de $1^k,2991$, ou pour plus de simplicité, $1^k,3$.

Le poids du mètre cube d'oxigène est $1^k,432$.

D'après ce qui vient d'être dit, 100^k de charbon exigent pour brûler $251^k,63$ d'oxigène, ou $175^{mcub},7$ ce qui correspond à $836^{mcub},66$ d'air atmosphérique, supposé que ce dernier contienne 21 p. °/₀ d'oxigène; ces $836^{mcub},66$ peseront $1087^k,65$.

Si l'on admet qu'un mètre cube de charbon de pin silvestre pèse 156^k
et qu'un mètre cube de coke pèse 480,
il sera facile de déterminer la quantité d'air atmosphérique nécessaire à la combustion pendant un tems donné, lorsqu'on saura la quantité de charbon qui doit être consommée.

Prenons pour exemple deux hauts fourneaux alimentés l'un avec du charbon de pin et l'autre avec du coke, produisant par semaine chacun 18036^k de fonte et par jour $2576^k,5$ ou $25^{qm},765$.

La quantité de charbon ou de coke brûlée pour cent de fonte ne peut être connue que par expérience, parce qu'elle varie avec la nature des minérais. Dans la haute Silésie, on traite un fer brun argileux qui donne à peu près 25 p. °/₀ de fonte. Par quintal métrique de fonte on consume ordinairement 1^{mcub} de charbon de pin silvestre ou 156^k. La consommation par jour pour les

$25^{qm},765$ de fonte serait donc $25^{mcub},765$ de charbon ou $40^{qm},193$, dont chaque quintal métrique exige 836,66 mètres cubes d'air atmosphérique, ce qui fait par jour

	33628^{mcub}	d'air atmosphérique
ou	43714^{k}	—

On consomme donc par minute,

	$23^{mcub},4$	d'air atmosphérique,
ou	$30^{k},4$	—

Un haut fourneau alimenté avec du coke et qui, en fondant des minérais de Tarnowitz, doit produire par jour $25^{qm},765$ de fonte, consomme $14^{mcub},522$ de coke, à raison de $0^{mcub},5636$ par quintal métrique. Ces $14^{mcub},522$ pèsent $69^{qm},7056$ et exigent pour être brûlés:

	58320^{mcub}	d'air atmosphérique,
et en poids	75716^{k}	—

La consommation d'air par minute serait donc:

	$40^{mcub},50$
et en poids	$52^{k},65$

Bien que les résultats qu'on vient d'obtenir soient conformes aux quantités d'air que reçoivent effectivement les deux fourneaux dont il s'agit, on ne doit pas ajouter une très-grande confiance à ces sortes de calculs, par les raisons que nous avons indiquées (707); d'autant plus que le poids même du charbon ne peut être fixé avec une précision convenable.

QUATRIÈME SECTION.

DU FER CRU.

PREMIÈRE DIVISION.

DE LA RÉDUCTION DES MINÉRAIS POUR EN OBTENIR DE LA FONTE.

GÉNÉRALITÉS SUR LES FOURNEAUX EMPLOYÉS POUR LE TRAITEMENT DES MINÉRAIS.

709. La fonte a été connue bien plus tard que le fer ductile et l'acier : il paraît qu'elle ne fut employée pour la première fois qu'au 15e siècle. Si l'emploi de la fonte resta si long-temps ignoré, il faut l'attribuer, soit à l'imperfection où se trouvait l'art des forges, soit à une circonstance particulière : c'est que la fonte obtenue dans les foyers dont on se servait anciennement, formait toujours une masse dure et aigre qui ne pouvait être convertie en objets moulés. Aujourd'hui même, on fait encore une différence entre les fourneaux qui peuvent produire de la fonte de moulage, et ceux dont la fonte est destinée exclusivememt pour l'affinage. Cette différence provient soit de la nature des minérais, soit de la proportion de char-

bon employée, soit de la forme du fourneau. Les fers spathiques et les fers bruns purs manganésifères donnent une fonte blanche et aigre qui ne peut servir dans les fonderies. Anciennement, on ne traitait que ces sortes de minérais, parce que ce sont les plus réductibles ; on devait donc ignorer l'usage du fer cru, jusqu'à ce qu'on eût appris à l'obtenir avec des minérais moins fusibles.

710. Le traitement des minérais de fer, ne pouvant avoir lieu qu'à une haute température, occasionne une grande consommation de charbon et nécessite l'emploi d'un rapide courant d'air. Il s'ensuit que l'économie en combustible est pour le sidérurgiste le point essentiel. Le procédé qui approche le plus de la perfection, doit porter cette économie au plus haut degré. Nous avons déjà exposé les raisons pour lesquelles on opère la réduction dans les fourneaux à cuve, c'est-à-dire, dans des fourneaux où le minérai chargé par couches alternatives avec le combustible, est mis en liquéfaction ; et ce combustible, au lieu d'être cru, ne doit servir qu'à l'état de charbon.

711. Ce n'est que par suite de l'imperfection des procédés, que, pour faire sortir la masse fondue, on interrompt la fusion dans les fourneaux à cuve. En suivant des méthodes perfectionnées, on fait écouler de temps à autre la fonte liquide, sans qu'on soit forcé de vider le fourneau, ou de laisser descendre toutes les charges. Pour se débarrasser des scories ou laitiers, qui, dans la réduction des minérais, se séparent du métal, on leur ouvre un passage lorsqu'ils s'amassent dans le foyer, à moins que la construction du fourneau ne soit telle qu'ils puissent s'écouler librement.

712. La cuve ou la cheminée du fourneau est le vide intérieur, formé par un mur de pierres réfractaires; il est destiné à recevoir les minérais et le combustible. Ses parties principales sont le *gueulard*, les environs de la *tuyère* et la *sole*. Le *gueulard* est l'ouverture supérieure par laquelle on introduit les charges. Les environs de la tuyère constituent le véritable foyer où doit s'effectuer la fusion; ce point est éloigné du gueulard d'une distance plus ou moins grande, qui peut varier entre $3^m,25$ et $14^m,60$ et même entre des limites plus écartées encore. La sole ou la pierre de fond se trouve de 24 à 62 centimètres au-dessous de la tuyère, selon les dimensions du fourneau. L'espace compris entre la tuyère et la pierre de fond s'appelle le creuset; c'est là que les matières liquides viennent se rassembler.

713. Le mur intérieur construit en pierres réfractaires et dont le vide forme la cuve, s'appelle les *parois*. Il est évident que ces parois doivent s'appuyer contre une forte maçonnerie, pour offrir une résistance suffisante. Les fourneaux d'une grande hauteur, alimentés avec des charbons durs dont la combustion doit être activée par un courant d'air très-rapide, reçoivent ordinairement deux ou trois de ces murailles intérieures, qu'on distingue ensuite de la première par le nom de *fausses* ou *contre-parois*. Ces murs concentriques ne sont point liés ensemble; ils laissent entre eux un espace de 12 à 14 centimètres, qu'on remplit avec des matériaux réfractaires concassés, qui ne doivent pas être trop serrés.

Le double but de cet espace intermédiaire est de concentrer la chaleur, parce que l'air est un mauvais conducteur du calorique, et d'offrir aux parois la facilité de se dilater sans se fendre et sans faire ouvrir l'enveloppe exté-

rieure. Cet espace rempli de cendres servirait parfaitement comme moyen de contenir la chaleur, parce que les cendres (on ne pourrait jamais employer le fraisil à cause de sa combustibilité) forment une des substances les moins conductrices; mais il ne faut en conseiller l'usage ou celui du sable: si les parois entraient en fusion, le sable ou les cendres s'écoulant par les brêches, se répandraient dans la cuve et forceraient d'arrêter le fondage. Ce n'est que dans les hauts fourneaux à deux contre-parois, qu'on peut employer le sable ou les cendres pour le remplissage entre le deuxième et le troisième de ces murs intérieurs; une excellente substance, c'est le laitier de haut fourneau grossièrement bocardé et humecté d'eau argileuse. Les laitiers, ainsi que tous les corps vitrifiés, sont de mauvais conducteurs du calorique et conviennent par conséquent très-bien; mais on est obligé de leur donner un peu de liaison par l'argile. Les parois, même lorsqu'elles sont simples, ne s'appuient jamais contre la maçonnerie, afin que, sans occasionner aucun dommage, elles puissent obéir à la force expansive de la chaleur.

714. Le mur extérieur porte le nom de *double muraillement;* sa forme, en elle-même assez indifférente, est réglée souvent d'après celle de la cuve: elle présente l'aspect d'un cône, d'une pyramide quadrangulaire, hexagonale ou octogonale. Le cube, le cylindre et le prisme ne sont point usités; non-seulement ils occasionneraient pour leur construction une dépense inutile de matériaux, mais il en résulterait aussi une trop forte charge sur les fondations. Le double muraillement reçoit toujours un certain retrait, dans le cas même où la cuve du fourneau est évasée dans la partie supérieure.

Depuis peu de temps, on supprime dans quelques usines le muraillement extérieur des hauts fourneaux, et

l'on consolide la maçonnerie réfractaire avec des cercles et des barres en fer, comme on le fait en petit pour les cubilots; c'est un moyen de gagner du temps et de l'espace.

715. Il est essentiel, sur-tout pour les fourneaux qui ont une certaine élévation et qui sont destinés à supporter une haute température, de ménager dans la maçonnerie, des canaux pour le dégagement des vapeurs, dont la force élastique pourrait rompre l'enveloppe extérieure : c'est pour cette même raison et parce que le double muraillement est toujours dilaté par la chaleur, qu'il faut le consolider avec des barres de fer et des ancres. Les fourneaux coniques portent de gros cercles en fer; ceux dont la forme est pyramidale, sont traversés de plusieurs systèmes des barres de fer retenues à l'extérieur par des rondelles en fonte, ou par des barres de fer courbées en *s* ou en *x*. On ne peut se dispenser d'affermir de la sorte les assises que désunissent la dilatation du fourneau et le retrait provenant des *mises hors*.

716. En Suède, on trouve encore beaucoup de fourneaux dont le double muraillement ne s'élève que jusqu'à une certaine hauteur (au-dessus de l'une et de l'autre embrasure). On le prolonge ensuite avec des cadres de bois disposés l'un sur l'autre et formant entre eux et les parois, un espace vide qui est rempli avec une terre médiocrement grasse, damée avec beaucoup de soin. Ce genre de construction, qui est très-économique, présente un autre avantage, celui de concentrer la chaleur; on peut donc l'appliquer aux petits fourneaux. Les cadres sont consolidés par des barres de fer ou des chevilles de bois. On emploie pour la charpente du bois sec et résineux.

717. Les fondations exigent d'autant plus de soin que

le fourneau doit être plus élevé. Leurs dimensions en longueur et en largeur sont ordinairement égales à la hauteur du fourneau, lorsqu'il est petit; dans le cas contraire, on ne leur donne que les deux tiers de cette quantité. Leur profondeur dépend de la nature du sol. Un des points importans, c'est d'y ménager des canaux pour l'écoulement de l'eau et des vapeurs. Ces conduits, qui pour les grands fourneaux, sont voûtés ou couverts de plaques en fonte, se croisent à différentes profondeurs au-dessous de la pierre de fond (Pl. IV, Fig. 1).

Dans les terrains sablonneux, et particulièrement dans les pays où le bois est encore à bon compte, on établit les fondations sur un pilotage dont les troncs d'arbre, enfoncés quelquefois de 20 à 30 pieds de profondeur, sont couronnés par un grillage. Garney prétend que les pilotis sont inutiles; mais il conseille l'emploi d'un grillage, lorsque les terrains ne sont pas assez fermes. Les fondations en simple maçonnerie sont préférables à toutes les autres; leur profondeur doit être déterminée d'après la hauteur du fourneau et la nature du sol. On ne peut, sur cet objet, prescrire des règles générales.

718. Les fondations doivent être assez élevées pour que la sôle du fourneau soit à l'abri de l'eau. L'opération suit toujours une mauvaise marche, lorsque les pierres de fond s'empreignent d'humidité.

En Suède, on tâche de rafraichir les fondations et la sôle, en y dirigeant des courans d'eau; mais il est essentiel que l'eau ne touche ni les pierres de fond, ni les plaques de fonte qui portent une couche de sable, sur laquelle reposent ces pierres. Au-dessous des plaques, on établit quelquefois des canaux qui communiquent avec des tuyaux en fonte placés verticalement, et dans lesquels on verse de l'eau de temps à autre: ces procédés nous pa-

raissent très-défectueux. En général, on doit éviter toutes les dispositions qui tendent à refroidir le fourneau.

719. En construisant le massif du muraillement, on doit songer aux moyens de pouvoir approcher du creuset, soit pour donner le vent au fourneau, soit pour faire écouler les scories et la fonte: deux embrasures ménagées dans la maçonnerie extérieure remplissent cet objet pour les petits fourneaux, souvent même ils n'en ont qu'une seule; c'est alors du côté de la tuyère qu'on fait écouler la fonte. Les fourneaux d'une grande hauteur, ceux qui sont alimentés avec du coke, reçoivent trois embrasures, parce qu'on leur donne deux tuyères opposées; il existe d'autres fourneaux qui ont quatre embrasures, parce qu'on donne le vent par trois côtés différents; d'autres fourneaux enfin, sont aussi pourvus de quatre embrasures, bien qu'ils ne reçoivent le vent que par deux tuyères, mais on y travaille sur deux côtés opposés. Les embrasures commencent immédiatement au-dessus des fondations, et sont assez hautes pour qu'un ouvrier puisse s'y tenir debout; elles sont voûtées, ou bien la voûte est remplacée par des petites gueuses appelées *marâtres* (Pl. IV, Fig. 1).

La face antérieure du creuset où l'on fait écouler les laitiers et la fonte, se nomme le *côté du travail;* la partie opposée s'appèle la *rustine;* celle par où l'on donne le vent, est le *côté de la tuyère,* et l'autre porte le nom de *contre-vent.* Les embrasures se désignent de la même manière que les quatre faces du creuset; mais il existe des fourneaux, ainsi que nous venons de le dire, qui ont une embrasure de travail et deux embrasures de tuyères, et d'autres dans lesquels l'embrasure du travail est en même temps celle de la tuyère.

Lorsque les fourneaux sont très-grands, les embrasures ont une largeur égale aux deux tiers de celle des fondations,

et $2^m,50$ à 5^m de hauteur, mesurée au milieu du côté extérieur; diminuant ensuite de hauteur et de largeur, elles viennent se terminer aux contre-parois du fourneau*. Couvertes par une voûte, elles forment des cônes tronqués; si leur surface supérieure est soutenue par des marâtres, elle présente la figure d'un trapèze. La partie du mur intérieur appartenant aux parois et mise à nu par l'embrasure du travail, s'appelle la *poitrine du fourneau.*

720. Après avoir achevé la voûte des embrasures, on élève le double muraillement jusqu'au gueulard: pour donner le retrait convenable, on se guide sur l'axe de la cuve. La plate-forme supérieure, formée par l'épaisseur des parois, des contre-parois et du double muraillement, s'appelle aussi le *gueulard.* Cet espace, plus vaste dans les grands fourneaux que dans ceux qui n'ont qu'une faible élévation, est souvent entouré d'un mur: mais aux petits fourneaux la maçonnerie extérieure est bornée presque toujours à la hauteur même de la plate-forme; quelquefois cependant, on la prolonge en forme de hotte ou de cheminée, pour prévenir les accidens que la flamme pourrait occasionner.

Dans plusieurs usines on emploie la flamme du gueulard pour griller les minérais, pour cuir de la chaux et de la brique; il suffit alors de mettre cette cheminée en communication avec un ou plusieurs conduits placés dans une position horizontale ou inclinée, et portant à l'autre extrémité un tuyau vertical, qui sert au dégagement de la fumée. Après avoir traversé ces conduits, la flamme les dépasse quelquefois encore, malgré la longueur du chemin qu'elle a parcouru. M. Berthier a proposé dans le journal

* On ne leur donne guère au-delà de 4^m à $4^m,30$ de largeur à la base, du côté extérieur, et au-delà de $2^m,30$ à $2^m,60$ du côté intérieur. Le T.

des mines, n° 210, des moyens semblables pour utiliser la flamme des hauts fourneaux ou des feux d'affinerie*.

721. Lorsque les fourneaux ne portent point de cheminée extérieure, on prolonge le doube muraillement au-dessus du gueulard, à une hauteur de 10 ou 12 pieds sur une épaisseur de 18 pouces, pour prévenir les incendies et pour empêcher que la flamme ne soit refoulée par les ouragans; cette maçonnerie s'appelle *mur de bataille*.

L'espace qui reste entre les parois, et qui est rempli de briques concassées, ne continue pas jusqu'à la hauteur du gueulard; il cesse à deux ou trois pieds plus bas, afin que l'eau ne puisse s'infiltrer dans le massif. C'est aussi pour cette raison qu'on fait bien de couvrir toute la plate-forme supérieure avec des plaques en fonte.

722. Il est essentiel que les fondations soient assez hautes pour que, dans les grandes eaux, les canaux inférieurs ne soient pas noyés et que la sole soit maintenue toujours en état de siccité. C'est une erreur de croire que l'humidité du sol qui est au-dessous de la pierre de fond, soit avantageuse au succès du fondage : l'expérience a maintes fois démenti cette opinion (718). On aime à construire les

* La plupart des maîtres de forge ont remarqué que les conduits où l'on fait passer la flamme qui s'échappe du gueulard, établissent un tirage trop considérable pour les fourneaux activés au charbons de bois, et font brûler le combustible avec trop d'activité dans la partie supérieure de la cuve, ce qui dérange la régularité de l'opération. Dans beaucoup d'établissemens où l'on cuisait des briques ou de la chaux avec la chaleur perdue, l'expérience s'est prononcée contre ces fabrications économiques, bannies aujourd'hui de presque toutes les usines. Mais ce tirage, nuisible pour les fourneaux activés avec du charbon de bois et sur-tout avec du charbon léger, produit quelquefois un effet avantageux dans les fourneaux où l'on brûle du coke, lorsqu'il est compacte ou pesant. Le T.

fourneaux qui doivent avoir une grande hauteur, sur le penchant d'une montagne, afin de pouvoir communiquer plus facilement avec le gueulard; mais alors on doit avoir soin de mettre la pierre de fond à sec, en faisant des coupures pour saigner le terrain. A défaut d'un emplacement de cette nature, les matériaux sont transportés sur la plate-forme, soit à bras d'homme, soit par des machines : on se sert pour cet effet, de rampes, d'escaliers, de treuils, de baritels, etc., etc.

723. Il est inutile que le bâtiment qui contient le fourneau soit très-grand, si la fonte ne doit pas être convertie en objets moulés; il suffit alors qu'il présente assez d'espace pour ne pas gêner le fondeur dans son travail et pour pouvoir contenir la fonte après chaque coulée. Les soufflets, disposés dans l'intérieur de ce bâtiment pour les petits fourneaux seulement, occupent très-souvent une chambre ou un édifice particulier; sur-tout lorsqu'ils sont mis en mouvement par une machine à vapeur.

On trouve de nombreux détails sur la construction et la réparation des hauts fourneaux, dans l'ouvrage de Garney, traduit du Suédois en allemand, par M. Blumhoff.

724. C'est de la cuve que dépendent les dimensions de tout le massif de la maçonnerie; la cuve en est donc la partie principale : les contre-parois avec le remplissage, le double muraillement et les canaux ne servent qu'à lui donner une plus grande solidité. On peut obtenir de la fonte dans tous les fourneaux, mais la forme donnée au vide intérieur exerce, malgré cela, une grande influence sur la marche du travail, la réduction du minérai et l'économie en charbon.

La nature de ces substances est tellement variable,

que jusqu'à présent il a été impossible de trouver pour la construction des fourneaux une règle générale, confirmée par l'expérience. Voilà ce qui peut expliquer les nombreuses contradictions qui existent entre les métallurgistes*. Du reste, on est obligé de convenir aussi que jusqu'à présent on n'a recueilli et examiné que très-peu de faits, avec les lumières et la pénétration d'esprit qu'on devait apporter dans ces sortes d'investigations. Les résultats du travail des hauts fourneaux, modifiés par une foule de circonstances accidentelles, demandent beaucoup de temps pour être observés, et comparés entre eux avec une entière connaissance de causes. Il ne faut donc pas s'étonner, si dans l'état actuel d'une branche d'industrie, gouvernée presque toujours par des maîtres ouvriers qui ne sont guidés que par leur routine et leur entêtement, on a obtenu si peu de lumières sur cet art dont les secrets devraient être soumis aux méditations d'un observateur riche en connaissances de toute espèce. A ces difficultés, il faut en ajouter une autre non moins importante, c'est

* En Angleterre les opinions sont moins divergentes. L'intérieur des hauts fourneaux y reçoit à peu de chose près la même forme, dans certaines contrées. Sans occasionner beaucoup de soins, ils marchent en général très-long-temps, avec une grande régularité, et offrent les produits les plus abondans. Leur coustruction et leur forme sont donc parvenues à un haut degré de perfectionnement. Cet immense avantage est dû autant et plus peut-être aux matières premières employées dans ce pays, qu'à l'industrie de ses habitans. Le minérai qu'on y traite presqu'exclusivement, c'est le fer carbonaté argileux, et le combustible c'est toujours le coke. Disposant partout des mêmes matériaux, on peut dans chaque établissement introduire les améliorations découvertes dans un autre : cette observation s'applique surtout pour les hauts fourneaux d'une même contrée. Dans les lieux où la houille est très-bonne, ils reçoivent de plus grandes dimensions en *largeur* seulemeut. Ajoutons encore que le fer carbonaté argileux, lorsqu'il est de bonne qualité, comme en Angleterre, constitue un des minérais les plus faciles à traiter.

Le T.

l'ignorance des affineurs, dont l'opinion sur la qualité des fontes a été regardée jusqu'à présent comme décisive. Mais leurs plaintes ne sont admissibles que dans le cas où le fer cru renferme une trop grande quantité de substances nuisibles, telles que du silicium, du soufre ou du phosphore.

725. La grande fusibilité des fers spathiques et des oxides bruns purs, facilite leur traitement. On imprime au fourneau, une allure que pour d'autres minérais on tâche souvent d'éviter. Ceci va devenir plus clair. Une dose déterminée de combustible né peut fondre qu'une certaine partie de minérais : une surcharge de ces derniers ferait entrer en vitrification une plus grande partie de métal et occasionnerait des engorgemens dans le fourneau, etc., etc ; une diminution dans la charge produirait presque les mêmes effets. Ces accidens plus dangereux et plus nuisibles au travail, se manifestent plus fréquemment si les minérais sont réfractaires : en fondant des minérais très-fusibles, on y remédie avec la plus grande facilité, sans que le fer cru en devienne plus mauvais. Il n'en est pas de même avec les minérais difficiles à fondre ni avec ceux qu'on réduit par le coke : un semblable dérangement peut occasionner la cessation du fondage, et plusieurs jours après la disparition du danger ; il peut exercer encore une mauvaise influence sur la qualité des produits.

C'est à cause de la grande facilité avec laquelle se réduisent les minérais purs que leur traitement exige peu d'attention, et que toutes les observations que l'on voudrait faire sur la forme des cuves, ne pourraient trouver aucune application lorsqu'il s'agit de fondre des minérais réfractaires ou de conduire des hauts fourneaux à coke.

726. Les cuves ont déjà reçu une infinité de formes différentes; leurs sections horizontales étaient quelquefois rondes, elliptiques, carrées, hexagonales et octogonales. On établissait sur chacune de ces formes en particulier, de grandes espérances, que souvent même on s'imaginait avoir réalisées. Leurs coupes verticales étaient soumises aux mêmes variations. La figure de leur plan est très-indifférente; car il est indubitable que les cuves rondes ou carrées produiraient le même effet, si les coupes perpendiculaires à l'axe, prises aux mêmes hauteurs, étaient égales en surface*. Il n'en est pas ainsi pour les coupes dans le sens de l'axe, parce que leur forme détermine la grandeur des sections horizontales.

Il est probable que les cuves ont reçu d'abord la forme la plus simple, celle du cylindre ou du prisme (Fig. 2). On a dû s'apercevoir ensuite que les matières contenues dans le vide intérieur éprouvaient une trop forte compression dans les parties basses, et ne pouvaient être traversées par le vent; on s'est donc avisé de le rétrécir vers cet endroit (Fig. 3). Guidé par d'autres observations, on a pensé que si les matières en descendant, se répandaient sur une plus grande surface, elles se comprimeraient moins fortement et laisseraient plus de jour entre les fragmens; c'est ainsi qu'en partant du principe opposé, on a choisi pour les minérais fusibles la forme d'un cône posé sur la grande base (Fig. 4). Enfin tout en approuvant l'élargissement vers les parties inférieures, on a dû cependant remarquer que le vent ne pouvait traverser toute l'épaisseur de la masse des

* La forme ronde est généralement adoptée pour les hauts fourneaux de grandes dimensions, et pour tous les hauts fourneaux que l'on construit avec soin et précaution. Elle est préférable à toutes les formes anguleuses, parce qu'elle favorise davantage la régularité si nécessaire dans la descente des charges. Le T.

matières : on a donc fini, en conservant le premier élargissement, par contracter la cuve dans les environs de la tuyère ; c'est ce qui a donné naissance à la forme conservée depuis avec certaines modifications pour tous les fourneaux (Fig. 5).

L'endroit où la cuve est le plus large s'appelle le *ventre*. Placé tantôt au milieu de la hauteur du fourneau et tantôt au premier tiers en partant du sol, il a été élargi pour les minérais fusibles, traités avec de bons charbons et un vent fort (Fig. 6); tandis qu'on l'a diminué de largeur pour les minérais réfractaires, fondus avec des charbons légers et un vent faible (Fig. 7) : mais, s'étant aperçu peut-être qu'un rétrécissement considérable produisait encore sur les couches inférieures une trop forte pression, on a descendu l'emplacement du ventre, qu'on a rattaché au véritable foyer *a* par une autre surface conique *b*, ou par un tors (Fig. 8 et 9).

Il n'est pas nécessaire que l'espace dans lequel doit s'opérer la fusion soit très-étroit pour les minérais fusibles ; mais ceux qui sont réfractaires et sur-tout ceux qu'on fond avec du coke, ne se traiteraient que d'une manière imparfaite si l'espace où doit s'opérer la fusion n'etait pas très-rétréci. Le foyer *a* s'appelle *ouvrage* *. Il est construit avec les pierres les plus réfractaires qu'on puisse se procurer : la partie conique ou en forme de tors, qui le rattache au ventre, se nomme *étalages*. Dans les fourneaux sans ouvrage, les étalages se trouvent confondus avec le foyer. Lorsqu'on traite des minérais qui ne sont pas très-réfractaires, avec des cokes durs et pesans, dont la combustion ne peut être activée que par une forte machine soufflante, on est quelquefois obligé de rendre la

* On désignera par la suite, sous le nom d'*ouvrage*, toute cette partie de la cuve, y compris le creuset. C'est ainsi qu'on la désigne aussi en France, dans toutes les usines qui me sont connues. Le T.

pente des étalages si rapide, qu'ils perdent leur forme caractéristique et ne paraissent être qu'un prolongement de l'ouvrage (Fig. 10).

727. Il n'existe probablement plus de fourneaux dont tout le vide intérieur ait la figure d'un cylindre ou d'un tronc de cône évasé vers le haut, ou d'un tronc de cône placé sur la grande base (Fig. 2, 3 et 4). Les fourneaux se rétrécissent toujours vers la région où doit régner la plus forte chaleur. Quelque fois ils conservent au-dessus des étalages toute leur largeur jusqu'au gueulard (Fig. 11); mais le plus souvent ils vont en se rétrécissant vers le haut. Si les fourneaux ne sont pas pourvus d'un ouvrage, leur forme pourra être semblable à celle qui est représentée par les (Fig. 5, 6 et 7), à moins que depuis l'endroit le plus large ils ne se terminent en cylindre, ainsi que cela est indiqué par les lignes ponctuées de la fig. 6. Les opinions des métallurgistes sont encore partagées sur la forme qu'on doit donner aux fourneaux, depuis le gueulard jusqu'au ventre. On en trouve qui sont cylindriques ou prismatiques; mais cette manière de les construire n'est excusable en quelque façon, que dans le cas où les charbons sont petits et légers, les minérais terreux et susceptibles de se comprimer fortement.

La majeure partie des cuves ont une forme conique ou pyramidale (Fig. 12), et c'est la meilleure. D'autres sont composées du cône et du cylindre; mais alors il est essentiel que les lignes droites soient raccordées par des courbes (Fig. 14, 15 et 16). D'autres sont tout-à-fait curvilignes. Ces dernières ressemblent aux cuves coniques ou pyramidales, mais elles sont plus difficiles à construire et plus sujettes à s'ébouler, si les matériaux de construction ne sont pas très-réfractaires.

La forme courbe entrave d'ailleurs la circulation de

l'air. Voilà des raisons bien fortes contre son admission, je n'en vois point qui soient en sa faveur.

La forme indiquée dans la figure 17, ne peut être employée que pour des fourneaux très-bas, des minérais fusibles, des charbons légers et de faibles machines soufflantes. En Suède on préfère, quoiqu'à tort, les cuves en lignes courbes.

728. On peut donc ranger tous les fourneaux en deux classes: fourneaux avec ou sans ouvrage. Le choix qu'on fait entre eux, est déterminé soit par la fusibilité des minérais et de leur gangue, soit par l'usage qu'on veut faire de la fonte. Les minérais fusibles et riches peuvent être traités dans les fourneaux sans ouvrage, à moins qu'on ne veuille en retirer de la fonte grise, destinée à la fabrication des objets coulés. On est obligé au contraire d'employer des fourneaux à ouvrage pour des minérais pauvres ou réfractaires, ou bien, quand on fait usage de coke pour combustible. Les ouvrages, surtout ceux qui sont hauts et rétrécis, procurent toujours une chaleur intense, une économie de charbon, une séparation complète du métal et des substances étrangères; cependant il est essentiel de ne point dépasser certaines bornes. Dans les hauts fourneaux qui sont pourvus d'ouvrages élevés et rétrécis, et qu'on alimente avec du charbon de bois et des minérais fusibles, dans ces hauts fourneaux, dis-je, la silice se réduirait trop facilement et rendrait la fonte impure: cette fonte pourrait servir sans inconvénient pour la fabrication d'objets moulés; mais elle donnerait de mauvais fer et s'affinerait difficilement. L'inconvénient des ouvrages très-élevés n'a pas lieu au même degré pour les hauts fourneaux à coke *.

* Ajoutons encore que des ouvrages trop élevés diminuent considé-

729. Les fourneaux à cuve, employés pour le traitement des minérais, se divisent aussi en fourneaux à poitrine close et en fourneaux à poitrine ouverte. Les premiers, qui ne conviennent que pour la réduction des minérais purs et fusibles, sont fermés du côté de l'embrâsure du travail, et sont pourvus seulement d'un ou de deux trous qui servent à l'écoulement du laitier et de la fonte; Les seconds sont ouverts du côté antérieur sur toute la largeur du creuset, afin qu'on puisse y introduire des ringards et travailler dans l'ouvrage. On emploie ces derniers pour le traitement des minérais qui sont difficiles à fondre, et qui donnent un laitier tenace qu'on est souvent obligé d'arracher du fourneau. Ce fondage à poitrine ouverte donne lieu à une perte de chaleur plus forte qu'elle ne l'est dans le travail à poitrine close: on diminue cette perte en laissant sur la partie du creuset qui est à jour une couche de laitiers ou de fraisil.

730. Les fourneaux à poitrine ouverte s'appellent hauts fourneaux, ceux qui ont la poitrine close se nomment flussofen et stuckofen, on ne peut admettre une autre division raisonnée. Les uns et les autres peuvent être ou non pourvus d'ouvrages. Ceux qu'on voit en Suède sont presque tous des hauts fourneaux sans ouvrage, et dans les forges de Bergen, en Bavière, il existe un flussofen à ouvrage: la hauteur est indépendante de cette dénomination; car on voit beaucoup de hauts fourneaux qui sont moins élevés que certains flussofen.

---

rablement la quantité de fonte qu'on obtient. Nous avons vu un *haut fourneau à coke* des plus grandes dimensions, dont la production journalière a été réduite de moitié, parce que, forcé d'en retirer de la fonte très-grise pour la fabrication d'objets moulés, on lui avait donné un ouvrage de 9 pieds de hauteur. Le T.

Nous avons déjà parlé de la différence des flussofen aux stuckofen (464); ce n'est pas non plus par leur hauteur que, dans leur origine, ils différaient entre eux, mais c'est plutôt par la largeur du foyer plus rétréci dans les premiers, et particulièrement par la manière dont on conduit le travail. Telle est du reste l'imperfection du travail des stuckofen, qu'on ne peut jamais déterminer d'avance l'espèce de produit qu'on obtiendra, puisqu'à côté du fer demi-affiné, il se trouve toujours une plus ou moins grande quantité de fonte.

731. La température se trouve plus élevée dans les fourneaux à ouvrage, lors même qu'ils sont très-petits, qu'elle ne l'est dans ceux qui sont dépourvus d'ouvrage. En général, ce n'est pas la hauteur du fourneau, mais c'est la force du vent, la qualité du charbon et la concentration du foyer qui élèvent le degré de chaleur. Il s'ensuit que les cuves des fourneaux sans ouvrage sont moins exposées aux dégradations qui commencent toujours par le foyer. Si l'ouvrage s'élargit, le fourneau se rapproche de ceux qui n'en ont point, la température perd son intensité, la fusion et la séparation des matières deviennent incomplètes. C'est toujours devant la tuyère que se manifestent les plus fortes dégradations.

De la durée des cuves et des foyers dépend celle du fondage; il faut donc se servir pour leur construction, des matériaux les plus réfractaires. On fait ordinairement usage du grès non traversé par des veines ferrugineuses. Quelquefois on emploie aussi le schiste micacé, le talc schisteux, le gneiss et le granit; mais il faut s'assurer d'abord de l'infusibilité de ces roches et être certain qu'elles ne puissent s'égrener par la chaleur: les grès dont le grain est petit et la pâte réfractaire, doivent avoir la préférence. Lorsqu'il est difficile de se procurer ces pierres, on peut

construire les parois très-avantageusement avec des briques réfractaires *.

732. On doit mettre beaucoup de soin à la construction des parois intérieures, pour égaliser les pierres à leurs jointures et les dresser au cordeau. On se sert pour cet effet, d'un cadre fait d'après la forme de la cuve, ou d'un calibre mobile sur un axe qui se confond avec la verticale passant par le centre; au lieu de mortier, on fait usage d'une pâte liquide d'argile réfractaire. Le succès du fondage dépend en partie des précautions employées dans la construction des parois. On se donne moins de peine pour les stuckofen exposés à un plus faible degré de chaleur et *mis hors* à la fin de chaque semaine. On ne s'efforce pas non plus de trouver les matériaux les plus réfractaires pour les flussofen et les hauts fourneaux ordinaires; mais la moindre négligence apportée dans la construction des hauts fourneaux qui doivent être alimentés avec du coke, aurait les suites les plus fâcheuses: les pierres des parois en se fondant ou, si la maçonnerie est mal faite, en se détachant par morceaux, forceraient bientôt d'interrompre le fondage.

733. La seule différence du travail des fourneaux qui ont un ouvrage à celui des fourneaux sans ouvrage et à celui des stuckofen, consiste dans les soins qu'il faut donner aux premiers, pour que la charge des minérais ne soit pas maintenue trop faible, ou trop forte, ce qui serait encore plus dangereux; il en résulterait des engorgemens

* Les briques réfractaires, lorsqu'elles sont de bonne qualité et qu'elles sont confectionnées avec précision, constituent les meilleurs matériaux dont on puisse faire usage pour la construction des cuves de hauts fourneaux: on ne doit pas en employer d'autres, quand on a la facilité de se les procurer. Le T.

auxquels il n'est pas toujours facile de remédier *. Les petits fourneaux sont plus sujets aux accidens qui proviennent de la nature des minérais, ou de minérais mal grillés et mal bocardés, parce que les causes de dérangement agissent plus fortement sur une petite que sur une grande masse de combustible; ces accidens doivent donc se renouveler très-souvent dans les flussofen et les stuckofen; mais on n'en tient aucun compte, à cause de la fusibilité des minérais.

La fusion se fait toujours un peu au-dessus de la tuyère; le point où elle vient s'opérer s'élève à mesure que la température augmente. Toute la distance comprise entre le gueulard et ce point ne sert donc qu'à préparer et à ramollir les minérais. La réduction peut avoir lieu bien avant la fusion; mais souvent elle arrive plus tard pour les minérais fusibles que pour ceux qui sont réfractaires. Ces derniers exigent pourtant une plus forte concentration du foyer, afin que la séparation des matières étrangères et du métal puisse mieux s'effectuer. Si en vertu d'une chaleur très-intense, produite par une trop grande quantité de charbon et par un vent trop fort; ou si, par suite d'une trop grande fusibilité des minérais, ou par une trop forte dose de fondant, le point où s'effectue la fusion s'est très-élevé, la séparation du fer d'avec le laitier aura lieu à une grande hauteur au-dessus de la tuyère. Arrivés ensuite goutte à goutte au milieu du courant d'air, l'un est oxidé de nouveau et l'autre refroidi, attendu que le laitier est tantôt trop liquide et tantôt trop épais pour défendre le fer contre l'action du vent. Quelque chaude et quelque grise que

* Ces engorgemens se présentent plus facilement dans un fourneau à ouvrage, parce que le foyer est plus rétréci: un foyer large s'obstrue moins vite, mais les obstructions sont plus dangereuses, surtout lorsque les minérais sont réfractaires. Le T.

soit alors la fonte, quelque légers et quelque peu colorés que puissent être les laitiers, bientôt il se manifestera dans le foyer des signes de refroidissement : on obtiendra à la fois des laitiers légers et des laitiers pesans, un faible produit et de la fonte grise. Le fourneau est alors dans une situation dangereuse, il s'éteindrait si l'on ne venait à son secours.

Si par une surcharge de minérais, par un bocardage défectueux, par un mauvais grillage, ou par manque d'air, le fourneau se refroidit, la réduction ne peut s'effectuer en entier, parce qu'elle commence trop tard; une grande partie du fer reste dans les laitiers malgré les charbons dont il est entouré. C'est entre ces deux extrêmes qu'il faut chercher ce qu'on appelle *une allure* ou une marche régulière; elle est caractérisée par la hauteur convenable où s'effectue la séparation des matières; on la reconnaît à une certaine consistance du laitier. *L'allure froide* arrive le plus souvent avec des minérais réfractaires et des charbons compactes. Le trop d'éhauffement du fourneau est plus à craindre avec des minérais fusibles et des charbons qui brûlent facilement *.

* Lorsque le fourneau doit donner de la fonte grise, pour la fabrication des objets coulés, la région où s'effectue la fusion, doit être plus élevée qu'elle ne le serait, si la fonte était destinée pour l'affinage; dans ce cas, on désire presque toujours qu'elle soit mêlée, souvent même on la veut blanche, quand on opère au charbon de bois. Mais il faut toujours que le point où s'opère la fusion, soit maintenu à une hauteur constante et conforme au but qu'on se propose : si ce point s'élève ou s'abaisse, l'allure du fourneau est dérangée relativement à ce but. Le dérangement est absolu, par excès ou par défaut de chaleur, lorsque la réduction est incomplète, le laitier noir, pesant, chargé de métal, et sur-tout lorsqu'il se manifeste des obstructions dans l'ouvrage. Ce dérangement poussé à un haut degré occasionne toujours une trop grande consommation de combustible et de minérais. Dans certaines usines on imprime aux hauts fourneaux une allure froide, telle que la réduction ne puisse être complète; la marche est alors ir-

La hauteur du fourneau ne peut contribuer immédiatement à élever le point du foyer où s'effectue la réduction; mais, en raison de sa capacité, la cuve contiendra beaucoup de matières, la quantité de calorique developpée sera très-considérable et la marche du travail deviendra uniforme, parce que les causes nombreuses qui influent sur la température du foyer produiront un effet moins sensible en agissant sur une plus grande masse. Dans les petits fourneaux, au contraire, le plus léger accident fait varier le point où s'effectue la fusion. En augmentant la hauteur de la cuve, on doit augmenter aussi la force de la machine soufflante, afin que le vent puisse vaincre la pression qui lui est opposée par le poids de la colonne des matières; la chaleur devient alors plus intense et la fonte plus grise, bien que le rapport de la charge du minérai à celle du charbon reste le même: il en résulte une économie de combustible.

On imprimait anciennement aux stuckofen une marche telle que la fusion avait lieu devant la tuyère: le métal réduit et carburé, cédait alors une partie de son carbone à l'oxigène des minérais non réduits, et se rapprochait de l'état du fer malléable.

On ne peut se rendre raison de la possibilité d'une sem-

---

régulière sous le rapport de l'art, les laitiers sont noirs et pesans; mais dans l'usine, on appelle cette allure une marche bonne ou régulière, parce qu'elle donne l'espèce de fonte qu'on désire obtenir. Lorsque par la suite nous ferons usage de cette expression, on ne devra jamais l'entendre dans ce sens: nous dirons que la marche du fourneau est régulière, quand les minérais se réduisent complètement, que les laitiers sont légers et que cette marche puisse se soutenir, sans qu'il en résulte aucun inconvénient, sous le rapport du travail. Au reste les règles qu'on donnera pour parvenir à ce but, s'appliqueront plus ou moins directement à une allure froide qui, irrégulière sous le point de vue de l'art, ne permet pas une séparation complète des matières; mais qui pourtant doit être le plus uniforme qu'il est possible. Le T.

blable manière de procéder, que par les interruptions périodiques du fondage, jointes à l'extrême fusibilité du minérai. Si, en retirant le fer du foyer, on n'avait eu la faculté de le nettoyer ou d'enlever les matières durcies et attachées aux parois de la cuve, on n'aurait pu continuer le travail. Ce n'est en général qu'en vertu de cette fusibilité qu'on peut adopter une allure si froide, qui, du reste, entraîne une perte de combustible et de minérai; mais on obtient par ce moyen un produit décarburé, qui, dans les feux d'affinerie, se traite avec une grande facilité, et donne de très-bon fer. Si les minérais étaient réfractaires, le fourneau, après s'être dérangé, finirait par s'éteindre. La facile conversion de la fonte en fer ductile, ne peut excuser l'emploi des stuckofen et des petits flussofen; parce qu'on ne doit pas sacrifier le temps, le charbon et le minérai à la commodité et à l'ignorance des affineurs. On peut d'ailleurs obtenir dans des fourneaux plus hauts de la fonte blanche et de la fonte mêlée, aussi bonne que la fonte de stuckofen.

DES STUCKOFEN.

734. L'imperfection des stuckofen (fourneau à masse), nous dispense d'en parler avec beaucoup de détail. Ils reçoivent leur nom de la masse de fer àciéreux qui se rassemble dans le foyer et qu'on fait sortir de temps à autre. Il s'ensuivrait qu'on n'aurait dû s'occuper de ces fourneaux que dans la partie de cet ouvrage où nous traiterons de la préparation du fer ductile et de l'acier, si leur place n'était marquée ici par la nature de leur construction et de leur travail. D'ailleurs le fer qu'ils produisent ne peut se mettre en œuvre; ajouté à la fonte, il doit être soumis encore aux opérations de l'affinage. Les stuckofen qu'on rencontrait en grande quanitité dans la

Carniole, la Carinthie et la Styrie, ont été remplacés par les flussofen. On en voit encore en Hongrie et dans le Henneberg, en Allemagne.

735. Leur hauteur est de 3^m à $3^m,75$, et quelquefois leur cuve va en augmentant de largeur, depuis le gueulard jusqu'à la sole; mais le plus souvent, ils ont au milieu un ventre; leur forme intérieure est ronde ou carrée. Les parois et la sole sont construites en grés ou en *grauwacke*, etc., etc. Plus étroits au gueulard que près de la tuyère, ils ont $0^m,80$ et même $1^m,10$ de diamètre au foyer. La pierre de fond reçoit vers le côté de la coulée, une pente de 5 à 8 centimètres; il n'existe presque toujours qu'une seule embrâsure pour le travail et la tuyère, et, dans ce cas, on retire les soufflets pour faire sortir la masse qu'on enlève par une ouverture de $0^m,63$ de largeur, pratiquée au niveau du sol, et fermée avec des briques et de la terre glaise quand le fourneau est en activité. La tuyère est rarement en cuivre; on la confectionne en argile; son orifice n'est pas déterminée d'une manière précise.

Pour commencer le travail, on remplit la cuve de charbons, on ferme le trou de la coulée, on introduit le feu par la tuyère et l'on fait agir lentement les soufflets qu'on arrête aussitôt que le combutible est enflammé. On souffle de nouveau lorsqu'il s'embrâse au gueulard, et l'on commence alors à charger le minérai avec le charbon par lits alternatifs, ou mêlés ensemble dans les fourneaux qui sont très-petits. La charge de minérai, très-faible d'abord, s'augmente successivement jusqu'à ce qu'on soit parvenu à la proportion convenable. L'une et l'autre matière sont prises à la mesure; mais on fait seulement varier la dose de minérai, en conservant toujours la même dose de combustible.

Dès que le minérai se présente devant la tuyère, on fait une percée pour l'écoulement du laitier; le fer, traversant les scories qui sont très-liquides, se rassemble sur le fond en une grosse masse appelée *Stuck*. Cette percée reste toujours ouverte: on enlève les laitiers de l'usine pour en séparer la fonte qu'ils ont entraînée. Lorsque le fourneau contient déjà une certaine masse de fer, on laisse s'entasser les scories devant le trou de la coulée, pour conserver la chaleur dans le foyer. Dans certains pays, on ménage plusieurs ouvertures, pour faire des percées à différentes hauteurs, et l'on remonte aussi la tuyère, à mesure que le fer s'accumule dans la cuve.

Ce qui distingue le travail des stuckofen de celui des hauts fourneaux, c'est que la charge de minérais est très-forte, et que la fonte, exposée à l'action d'un laitier très-riche en oxidule de fer, se trouve décarburée en partie.

Après s'être aperçu, à travers la tuyère, que le fourneau contient une quantité suffisante de métal, on laisse descendre toutes les matières; souvent aussi on charge plusieurs fois en charbon seulement, et l'on arrête le vent dès que le combustible arrive seul devant la tuyère. On enlève les scories, on renverse le petit mur de briques et l'on fait sortir la masse à l'aide de ringards et de crochets. Elle est toujours entourée de fonte liquide appelée en Styrie, *graglach*.

On aplatit la masse sous un gros marteau pour en faire un gâteau de 8 à 10 centim. d'épaisseur. On la coupe en deux lopins soumis ensuite à de nouvelles opérations. Pendant qu'on la travaille, d'autres ouvriers s'occupent à nettoyer la sole et l'intérieur du fourneau; à murer le trou de la coulée avec des briques; à former une tuyère en argile (si toutefois on n'emploie pas une tuyère de cuivre); à la remettre en place; à remplir le fourneau avec du charbon, si l'on a laissé descendre toutes

les charges; dans le cas opposé, on ne ferait que remplir la partie vide. C'est le plus souvent le dimanche soir, qu'on emplit ces fourneaux de charbon; on les allume le lundi matin et l'on *met hors* le samedi soir. Tel est le procédé suivi en Hongrie et qui était anciennement suivi dans l'Allemagne méridionnale.

736. Dans le Henneberg, on ne se sert pour stuckofen que des flussofen auxquels on fait un léger changement. Les cuves se composent de deux pyramides adossées base à base et separées quelquefois par un cylindre (Fig. 20). La maçonnerie réfractaire, construite en grès, n'est point attenante au double muraillement. Les fourneaux ont une embrasure de travail et une embrasure de tuyère. Le creuset est composé d'enclumes ou de grosses pièces de fonte; parce que les pierres auraient trop à souffrir, lorsqu'on fait sortir la masse ou loupe. La tuyère est en cuivre; on l'enveloppe d'une couche d'argile, pour en empêcher la fusion. L'ouverture par où l'on fait sortir le fer, est pourvue d'un cadre en fonte. Quand on commence le travail, cette ouverture se ferme par un mur très-léger, fait en briques ordinaires ou bien en pierres factices confectionnées avec du laitier, et soumises préalablement à un léger recuit; ces briques sont placées de champ : il serait inutile que ce mur eût une grande solidité, attendu qu'il n'éprouve pas une forte pression, les matières n'étant pas liquides.

La tuyère ne doit guère avancer dans le fourneau, afin qu'elle ne soit pas dérangée, quand on retire la masse. Le laitier s'écoule sans interruption; lorsque, par l'accumulation du métal, le trou d'écoulement se trouve bouché, on en pratique un autre à une plus grande hauteur.

La majeure partie de la charge se compose ordinairement de scories riches auxquelles on ajoute des paillettes

ou batitures, qu'on ramasse autour des martinets. Quelquefois on y ajoute un quart de minérai, et c'est toujours de l'oxide rouge. La première charge est à peu près le double de celle des flussofen; on emploie ensuite alternativement une charge de ces derniers et une grosse charge. On ne ferme la poitrine du fourneau qu'après qu'il s'est rassemblé une certaine quantité de fer sur la sole qui est en grès. Pendant le travail, on est obligé de débarrasser la tuyère, qui paraît toujours sombre. Le laitier ressemble parfaitement aux scories pauvres qu'on obtient par l'affinage de la fonte, et il se compose de la même manière. Celui que j'ai analysé contenait :

Silice.	29,1
Alumine	4,3
Chaux	2,6
Magnésie.	9,2
Oxidule de fer	51,7
Oxidule de manganèse . .	2,9
Potace	trace.

On voit par la composition de ces laitiers que les scories douces, qui sont des sous-silicates, ne descendent par leur traitement dans les stuckofen qu'à l'état de silicates. Si l'on voulait présenter à la silice une autre base, en échange de l'oxidule de fer, comme par exemple la chaux, il s'en suivrait encore une plus grande perte de métal; parce que le silicate de chaux est beaucoup plus réfractaire que le silicate d'oxidule, et qu'une grande quantité de ce dernier serait alors nécessaire pour déterminer la fusion de la masse. La cause qui produit le changement de la fonte en fer malléable, doit paraître évidente; car le fer réduit et carburé se trouve décomposé par la grande quantité d'oxidule renfermé dans ces laitiers.

Lorsque le creuset est rempli de fer, on fait sortir la masse. Pour cet effet, on renverse d'abord le petit mur

dont nous avons parlé, on fait écouler le laitier en entier, on introduit dans la tuyère un bouchon d'argile, on soulève avec des ringards la loupe, qui débarrassée des scories durcies par lesquelles elle adhère aux parois du creuset, est saisie ensuite avec une grosse tenaille munie d'une chaîne qui s'enroule autour de l'arbre d'un cabestan qu'on fait mouvoir. Cette loupe, retirée du foyer, est coupée ensuite sous le marteau, en un certain nombre de lopins pesant chacun vingt à vingt-cinq kilogrammes.

Le fer est tantôt plus, tantôt moins affiné : souvent il a conservé tant de crudité, par une allure trop chaude, qu'il tombe en pièces sous le marteau; on cherche à éviter cette marche.

Anciennement on arrêtait le fondage après qu'on avait obtenu une loupe, c'est-à-dire, qu'on laissait descendre toutes les matières contenues dans la cuve : maintenant on sépare le fondage d'une masse de celui d'une autre, par deux charges consécutives de charbon sans minérai, et l'on renverse le mur pour faire sortir la loupe, lorsque ces charges stériles se présentent devant la tuyère; en sorte que le travail peut marcher plusieurs semaines sans interruption.

D'ordinaire on donne seize à vingt charges pour chaque loupe, qui se termine en cinq à six heures et dont le poids est de 250 à 400 kilogrammes.

737. Les stuckofen ont été presque partout abandonnés, à cause de la grande consommation de combustibles qu'ils occasionnent. D'ailleurs, leurs produits passent encore une fois au feu d'affinerie et exigent, pour s'épurer complètement, presqu'autant de charbon que la fonte. D'un autre côté, il faut avouer que le fer obtenu est ordinairement d'une qualité supérieure; par ce que les bases terreuses et même l'oxidule de manganèse ne peuvent

point se réduire à la faible chaleur des stuckofen, ni entrer alors en combinaison avec le fer.

DES FLUSSOFEN.

738. Les *blauofen* ou *flussofen* (fourneau de fusion), ne différaient pas, dans le principe, des stuckofen. On pouvait s'en servir indistinctement pour l'une et l'autre manière d'opérer. En les employant comme fourneaux de fusion, on rétrécissait quelquefois le foyer; mais la chose essentielle c'était de laisser sur la fonte une couche de laitier pour la défendre contre l'action de l'air, et de diminuer la dose de minérai par rapport à la charge de charbon, afin d'élever davantage le point où s'effectue la fusion. Le minérai doit être stratifié par couches alternatives et non mélangé avec le combustible, comme on le pratiquait quelquefois dans les stuckofen.

Convaincu par le travail des stuckofen, que les produits étaient d'autant plus liquides que la cuve était plus haute, on éleva davantage les flussofen, qui ne devaient donner que de la fonte: leur hauteur fut donc portée de 3 jusqu'à 12 mètres; il en est résulté une grande économie de combustible. L'extrême fusibilité des minérais fournit un moyen facile d'empêcher l'échauffement du fourneau, parce qu'on peut augmenter la charge sans craindre les engorgemens du creuset. Si d'ailleurs le creuset venait à s'obstruer, il suffirait, pour remédier à cet accident, de ralentir l'action des machines soufflantes et d'introduire par la tuyère quelques pelletées de quartz pulvérisé: il se formerait tout de suite un laitier liquide et chaud qui dissoudrait les scories durcies et les masses attachées aux parois de la cuve. On tâche, au reste d'abaisser plutôt que d'élever le point de la fusion; si l'allure est un peu chaude, la fonte étant trop liquide traverse promptement le cou-

rant d'air, conserve son carbone et devient plus difficile à traiter dans les feux d'affinerie*.

C'est aussi pour ménager la cuve qu'on diminue la chaleur, en augmentant la proportion de minérai. Après avoir coulé quelque temps en fonte de *blettes*, qui doit être grise, on se voit forcé par cette considération de baisser bientôt la température du fourneau. Pour opérer ce changement à l'instant même, on projette dans le creuset par la tuyère, quelques pelletées de minérai pocardé.

Le fourneau ne se trouve donc jamais trop échauffé, quand on traite ce minérai fusible, chargé toujours en trop forte dose pour produire de la fonte grise; et si cet accident arrivait, il suffirait, pour descendre le point de la fusion et pour dissiper le danger, de donner moins de vent et d'employer les moyens ordinaires de rafraichir le creuset. Il est évident que la fonte obtenue par une allure trop chaude, ne se rapproche jamais du fer ductile, comme la fonte qui résulte d'une allure trop froide**. En augmentant outre mesure la dose de minérai, on rentrerait dans le travail des stuckofen et l'on finirait par arrêter le fondage.

739. On ne peut affirmer qu'il existe un maximum de hauteur pour les flussofen; ce ne serait que dans le cas où la colonne des matières formée par le minérai et le

---

* Si la température du fourneau n'est ni très-élevée ni très-basse, la fonte conservera tout son carbone et deviendra blanche, lamelleuse. Si la chaleur est très-intense, la fonte deviendra grise : mais l'une et l'autre espèce sont plus difficiles à traiter dans les feux d'affinerie que la fonte blanche obtenue par surchage de minérais. Le T.

** Lorsque la température du fourneau est basse, les laitiers chargés d'oxidule de fer décarburent le métal, et le convertissent en fer ductile : par une température très-élevée, on obtient au contraire des laitiers purs, qui pauvres en oxidule de fer, ne peuvent produire le même effet. Le T.

charbon exercerait dans la cuve une si forte pression, que le courant d'air employé à vaincre cet obstacle, devrait être extrêmement rapide; il pourrait arriver alors que la région où s'opère la séparation des matières fût portée trop haut, à cause de la fusibilité des matières composant la charge. Mais l'expérience ne s'est pas encore prononcée sur ce point, ni sur la limite au-dessus de laquelle une augmentation de hauteur ne produit plus aucune économie de combustible. Si la machine soufflante est faible, la cuve reste trop froide dans la partie supérieure, et l'on perd les avantages que procure une plus grande élévation.

En traitant des hauts fourneaux, nous parlerons des rapports qui doivent exister entre la hauteur de la cuve, sa largeur et l'emplacement du ventre: ce que nous dirons de ces foyers s'appliquera parfaitement aux flussofen.

740. Voici quels sont, à peu de chose près, les dimensions d'un flussofen de 4^{m},40 d'élévation: la distance depuis la sole jusqu'au ventre est égale à celle du ventre au gueulard; la largeur au gueulard est de 0^{m},65; celle du ventre de 1^{m},60, celle de l'extrémité inférieure de la cuve de 0^{m},94.

Un flussofen de 9^{m},50 d'élévation, reçoit 2 à 2^{m},50 de diamètre au ventre, 1^{m}, à la sole et 0^{m},80 au gueulard. La distance de la sole au ventre est quelquefois de 4^{m},70, quelquefois de 3^{m},15 seulement; dans le premier cas, il est au milieu, dans le second au tiers de la hauteur totale. Ces différences dans les fourneaux n'entraînent pas de graves inconvéniens dans le traitement des minérais qui sont faciles à fondre. La distance de la tuyère au fond de la cuve, est en général de 40 à 48 centim., la bouche de la tuyère a de 5 à 8 centim. de diamètre.

741. Pour réparer le fourneau, on commence par pla-

cer sur une couche d'argile de 16 centim. d'épaisseur, la pierre de fond, épaisse de 31 à 34 centim. On l'établit de manière à lui donner une légère pente de la rustine vers le trou de la coulée. On reconstruit ensuite de nouveau la partie inférieure de la cuve. Anciennement on n'employait pour matériaux que de l'argile, on se sert aujourd'hui du grès, si les fourneaux ont une certaine hauteur; les pierres dressées au cordeau, placées sur leurs lits de carrière et rangées par assises, doivent aboutir et se lier parfaitement à la partie intacte des parois. En construisant ce muraillement, on ménage une ouverture pour la tuyère et une autre pour la coulée; celle-ci a 40 centim. de largeur sur 63 centim. de hauteur, à compter de la sole; mais on la réduit à 18 centimètres de largeur après avoir achevé toute la construction.

Une cuve dure ordinairement deux ou trois ans, sans qu'on soit forcé de la reconstruire à neuf; c'est dans les environs de la tuyère qu'elle se détériore le plus: on est obligé, à la fin de chaque campagne terminée au bout de 5 à 7 mois, de réparer le foyer et de remplacer la pierre de fond.

Lorsque la réparation est achevée, on dessèche le fourneau. Pour cet effet, on bouche le gueulard presqu'en entier; on brûle d'abord du bois devant la poitrine et l'on finit par porter le feu dans l'intérieur de la cuve. Après avoir chassé l'humidité, on s'occupe à nettoyer la sole, à placer la tuyère, et à fermer avec des briques la partie supérieure du trou de la coulée, de manière qu'il ne reste qu'une ouverture pour l'écoulement de la fonte et du laitier, ouverture qu'on bouche après chaque coulée avec de la terre glaise. Le charbon dont la cuve est remplie en entier ou en partie, brûle doucement pendant plusieurs jours. Après cela, on charge en minérai, on fait agir les soufflets avec lenteur et l'on continue de remplir

de minérai et de combustible le vide qui se forme au gueulard; les charges de charbon sont constantes, on fait varier seulement la dose de minérai *.

Dès que le métal et le laitier ont rempli une partie du foyer, on procède à la première coulée, ou bien on commence simplement à se débarasser du laitier. La fonte se répand dans des moules plats ou, si on veut la diviser en blettes par l'arrosage, on la fait couler dans un bassin qu'on pratique dans du sable mélangé avec du fraisil, mais alors elle doit être grise **. La fonte répandue dans les moules s'appelle *floss;* ce qui a donné à ces fourneaux le nom de *flossofen* ou *flussofen.*

Les variations dans les charges dépendent de la nature des minérais, de la qualité du combustible, et de la fonte qu'on veut obtenir; lorsque les charbons sont durs, secs, sans être en trop gros morceaux, que les minérais sont fusibles, bien séchés et bien grillés, il faut en augmenter la dose. On en voit la nécessité, soit à la tuyère qui, pour lors, est claire et brillante; soit au gueulard dont la flamme vive, vacillante et terminée en dard, n'est pas accompagnée de fumée; soit à la fonte qui est très-chaude et conserve long-temps sa fluidité; soit aux laitiers qui sont très-peu colorés et qui, arrosés avec de l'eau, deviennent caverneux comme la pierre ponce. On reconnaît les signes d'une surcharge de minérai avec la même facilité : la tuyère s'obscurcit, son museau se recouvre de laitiers et de métal durcis, formant une espèce de tube qu'on appelle *nez;* la fonte qui coule lentement, est matte; les laitiers sont épais,

* On trouvera, à l'article des hauts fourneaux, de plus grands détails sur la dessication, qu'on appelle aussi le fumage. Le T.

** Ces blettes sont des feuilles qui ont quelques lignes d'épaisseur; si la fonte n'était pas grise, elle se figerait trop promptement et se prendrait en masses plus épaisses. Le T.

peu abondans, d'une couleur foncée et pesans; la flamme du gueulard est très-forte et accompagnée de beaucoup de fumée. Si en même temps, les charges descendent inégalement, il devient nécessaire de corriger l'allure du fourneau.

Il arrive quelquefois que la fonte et la flamme du gueulard ne présentent aucun indice de dérangement, quoique la tuyère s'obscurcisse et que les laitiers soient trop visqueux : cet effet ne provient que des minérais mal grillés ou chargés en trop gros morceaux; on y remédie en donnant plus de vent pour élever la région où s'effectue la fusion

742. On ne fait écouler les laitiers séparément que dans le cas où le fourneau est dérangé; à moins que les minérais ne soient pauvres ou qu'ils n'aient besoin de fondans, parce qu'il se forme alors une plus grande masse de scories. Si l'on veut mettre la fonte sous forme de floss, on coule toutes les deux ou trois heures. Pour la convertir en blettes, on la conserve plus long-temps dans le fourneau, afin d'en remplir le bassin qui doit la recevoir. La percée se fait au niveau de la sole; on ferme le trou avec un tampon de terre, aussitôt que la matière est sortie du creuset. L'eau projetée sur la masse liquide, fait figer les laitiers qui surnagent dans le bassin; on les enlève avec des crochets de fer et on les porte sous le bocard, parce qu'ils contiennent encore une grande quantité de fonte, qu'on estime à plus de 6 pour cent. Comme les floss sont aspergés d'eau et refroidis le plus tôt possible, on devrait préférer l'emploi des moules de fer à celui des moules en sable qu'on est obligé de renouveler chaque fois.

Le travail du fondeur est extrêmement facile; il consiste à nettoyer la tuyère avec un crochet et à détacher

de temps à autre, avec le ringard, les matières qui se durcissent dans l'intérieur de la cuve. Les laitiers visqueux attachés à la tuyère, prouvent seulement que les minérais sont difficiles à fondre; mais s'il se forme du fer affiné, c'est une preuve que la région où s'opère la fusion est trop basse, et que le fourneau est surchargé.

On ne donne point de vent pendant la coulée, afin de ménager le creuset et de ne pas être incommodé par la flamme. On fait écouler fréquemment la fonte, lorsque les minérais sont très-fusibles, que la marche est un peu froide, et que le foyer est large; parce que les scories, si elles étaient retenues dans le creuset, deviendraient trop épaisses et ne se laisseraient plus traverser par les gouttes métalliques.

743. La fonte *très-chaude* obtenue de minérais spathiques, est d'une couleur plus ou moins rouge, en sortant du fourneau, coule avec une extrême liquidité et forme, après le refroidissement, des surfaces concaves, parce que les bords se refroidissent plus promptement que le centre *. Tenace, un peu malléable, grise à sa cassure et à facettes, elle est semblable à la fonte grise ordinaire; bien qu'elle soit très-disposée à devenir blanche, par un refroidissement subit: on en donnera la raison plus tard. Le laitier est liquide, léger, d'une couleur claire et d'un aspect vitreux. On ne cherche pas à obtenir un fer cru de cette nature, à moins qu'on ne veuille fabriquer des objets moulés. Des minérais non souillés de substances nuisibles sont traités ordinairement pour fonte blanche;

* On a voulu attribuer cet effet au retrait, quoiqu'il soit prouvé que la fonte, en passant de l'état liquide à l'état solide, se dilate au lieu de se retirer. La seule explication qui me paraisse admissible, c'est que cette fonte, sortant avec une grande vitesse du creuset, forme en coulant, une surface concave, à cause de sa liquidité, et conserve cette surface, parce que les bords se refroidissent promptement. Le T.

il en résulte une économie de charbon dans le haut fourneau, ainsi que dans les feux d'affinerie.

La fonte *mêlée* ou *truitée*, qui est un produit intermédiaire entre la fonte grise et la fonte blanche lamelleuse, sort aussi du fourneau avec une couleur rouge; mais elle se refroidit plus vite que l'autre, et conserve par conséquent une surface plane *. Sa cassure, dont le fond est blanc, se trouve parsemée de petites taches grisâtres; plutôt rayonnante que lamelleuse, elle est, d'ailleurs, plus dure, plus aigre et plus sonore que la fonte grise. Le laitier, sans cesser d'être vitreux, devient pourtant plus compacte et plus coloré. Du reste, ce n'est pas non plus avec intention qu'on obtient cette espèce de fer cru : elle ne se présente qu'accidentellement, lorsque les flussofen ont une grande hauteur; d'ordinaire, on proportionne les charges de manière que l'allure soit plus froide et que la fonte devienne entièrement blanche.

La fonte blanche lamelleuse s'obtient encore avec un laitier vitreux d'une couleur bleue ou vert foncé, et lorsque le fourneau suit une marche régulière. Dans plusieurs contrées on obtient cette fonte à dessein; elle est parfaitement saturée de carbone; au sortir du haut foyer, elle présente une couleur plus claire que celle de la fonte truitée; elle est aussi moins liquide et se refroidit très-vite en jetant des étincelles. Sa surface est très-rude, après le refroidissement; sa cassure est blanche, brillante et plutôt lamelleuse que rayonnante. Son aigreur et sa dureté diminuent à mesure qu'elle se rapproche de la fonte blanche pâteuse dont il sera question tout à l'heure. Obtenu pendant plusieurs jours avec des minérais réfractaires, un semblale fer cru occasionnerait un engorgement du creuset; il faudrait

* N'étant pas aussi liquide que l'autre, la matière fluide n'est pas refoulée avec autant de force vers les bords. — Voyez la note précédente.
Le T.

donc changer l'allure du fourneau et remonter alors le point de la fusion. Ce danger n'existe pas si les minérais sont fusibles. Dans ce cas, on les traite souvent dans les flussofen, pour obtenir cette fonte appelée floss durs : on peut alors en augmenter la dose, sans que le fourneau vienne à s'engorger.

Une très-forte surcharge de minérais produit la *fonte blanche matte ou pâteuse,* qu'on appelle *floss tendre,* pour la distinguer des deux espèces précédentes qui reçoivent le nom de *floss durs*. Elle est très-épaisse et d'une couleur blanche en sortant du fourneau, coule avec lenteur, jette des étincelles avec beaucoup de bruit, se fige très-vite et présente alors une surface rude et inégale. Dans sa cassure, qui est parfaitement compacte, on voit une foule de trous et de soufflures; cette fonte qui a perdu son aigreur est aciéreuse, et donne cependant au feu d'affinerie plus facilement du fer que de l'acier. Le laitier est très-visqueux; refroidi, il est terreux et d'une couleur foncée. Maintenu dans l'allure qui produit cette espèce de fer cru, le fourneau finirait par s'éteindre, s'il avait une certaine hauteur.

Dans quelques usines de la Styrie on cherche à obtenir cette dernière fonte, parce qu'elle donne un excellent fer, et qu'elle subit peu de déchet par l'affinage : on emploie pour cet effet des petits flussofen. Les floss tendres se rapprochent déjà du fer des stuckofen.

La fonte qui forme la transition entre la fonte blanche lamelleuse et les floss tendres, c'est la fonte blanche rayonnante, compacte, ou bien la fonte blanche grisâtre (les floss à fleur).

744. Si, au bout de 6 à 8 mois, l'intérieur du fourneau se trouve agrandi et la pierre de fond rongée, de manière que sa distance à la tuyère soit de 80 à 94 centim., on

doit cesser le fondage, parce que la séparation des matières devient trop imparfaite dans un si large foyer. On ne pourrait alors obtenir de la fonte grise qu'en diminuant fortement la charge; les résultats deviennent incertains; les laitiers contiennent beaucoup de fer, quelle que soit la marche du fourneau; le travail est donc désavantageux. Mais il s'ensuit qu'on devrait rétrécir la partie inférieure de la cuve des flussofen et la construire avec des matériaux plus réfractaires; ce serait un moyen infaillible de faire une économie de charbon, si toutefois les pierres employées à la construction pouvaient supporter le degré de chaleur qui régnerait alors dans le foyer. On dut échouer lorsqu'on diminua sa largeur et qu'on fit usage de mêmes matériaux. L'emploi d'un courant d'air plus rapide, si l'on est à même de pouvoir augmenter le vent, n'offre qu'une faible ressource pour compenser l'élargissement du foyer: ce moyen ne peut même s'appliquer dans le cas où l'on travaille avec des charbons légers.

745. Quand le fourneau est *mis hors feu*, il reste dans le fond de la cuve une fonte aciéreuse appelée *renard;* ce n'est qu'après l'avoir détachée qu'on procède à la réparation du creuset. L'uniformité de la marche du travail prolonge la durée du fondage.

DES HAUTS FOURNEAUX.

746. Les foyers des hauts fourneaux sont ordinairement plus rétrécis que ceux des flussofen. La majeure partie des hauts fourneaux ont un ouvrage; il en existe pourtant qui n'en ont point, ainsi que nous l'avons remarqué précédemment. Les étalages sont une continuation des parois, cependant on les en distingue, parce qu'ils subissent ordinairement le sort de l'ouvrage; ils se détériorent et ils sont

recontruits avec le creuset, tandis que les parois de la cuve doivent durer plusieurs campagnes. Il faut donc pouvoir renouveler les étalages séparément. Un haut fourneau dont les parois sont achevées, mais qui n'a pas encore de creuset, présente jusqu'à la hauteur du ventre, un espace large, dans lequel on établit l'ouvrage et les étalages.

747. Le plan de l'ouvrage, au lieu d'être arrondi, présente la forme d'un quadrilatère; c'est la plus facile à exécuter, parce que les pierres du creuset doivent être très-grandes et qu'on éprouverait beaucoup de difficultés à les tailler en forme ronde, et à les faire joindre parfaitement. Lorsqu'on ne peut se procurer d'assez bonnes pierres, on fait le creuset de toutes pièces avec de l'argile réfractaire et du sable quartzeux, qui doit être d'une pureté parfaite. Passées au tamis, ces deux substances sont intimement mêlées ensemble; le mélange est humecté avec très-peu d'eau, et battu ensuite à la manière du pisé dans des cadres de bois, qui lui donnent la forme prescrite; et cette forme est alors ovale, parce qu'elle ne présente pas plus de difficultés qu'une autre. Au lieu de sable quartzeux, on peut employer de vieilles briques réfractaires pilées, ou même de l'argile réfractaire calcinée et passée ensuite par un tamis dont la maille aurait 3 à 4 millimètres d'ouverture. Il est essentiel que le mélange soit bien fait et qu'il soit pétri avec beaucoup de soin.

748. Les pierres de l'ouvrage exposées à la chaleur la plus intense, sont sujettes à se fendre et à se déliter, si elles ne sont pas très-sèches; il est nécessaire pour cette raison de les conserver pendant un an dans un endroit couvert et aéré. La résistance qu'elles sont susceptibles d'offrir ne peut être indiquée par leurs caractères extérieurs; on ne doit s'en rapporter qu'à l'expérience : ce-

pendant, il ne faut jamais employer des pierres contenant beaucoup de mica et d'amphibole, ni celles dont la couleur rouge ou brune annoncerait la présence du fer.

L'ouvrage s'élargit ordinairement depuis la sole jusqu'à son extrémité supérieure. Les pierres reçoivent le retrait prescrit. Taillées avec les meilleurs outils, elles ne doivent présenter aucune inégalité à leurs surfaces: toute espèce de bosse ou de cavité devient une cause de destruction. Il faut que leur lit soit parfaitement horizontal: ce n'est jamais en leur donnant une position inclinée à l'horizon qu'on doit former le retrait. C'est particulièrement la surface de l'intérieur du fourneau qui doit être très-unie et travaillée avec la plus grande précision.

749. Le nombre des pierres employées dépend de leurs dimensions et de celles de l'ouvrage: on peut le construire avec huit blocs, on pourrait le faire aussi avec une vingtaine; mais il faut tâcher cependant de se procurer de très-grosses pierres pour diminuer le nombre des joints. Elles ne sont pas dressées ou placées debout l'une à côté de l'autre *: on les superpose sur leur lit de carrière, et si une seule longueur n'est pas suffisante, on emploie deux blocs; mais il faut, le plus possible, que le joint tombe hors du foyer.

Si l'ouvrage était divisé en deux parties, par un plan vertical, parallèle à la tympe et passant par la tuyère, l'une s'appellerait l'*avant* et l'autre l'*arrière foyer;* si le plan, passant toujours par la tuyère, était horizontal, l'une serait la partie supérieure, et l'autre la partie inférieure de l'ouvrage; cette dernière s'appelle aussi *creuset.* La partie qui est au jour porte le nom *d'avant creuset* *.

* On construit quelquefois la rustine avec une seule pierre placée debout. Le T.

** L'espace que nous désignerons sous le nom d'*ouvrage supérieur*, porte aussi le nom de *petite masse inférieure*. Le T.

750. Lorsqu'on reconstruit l'ouvrage, on place d'abord la pierre de fond, qui, établie sur une couche de sable de 16 à 32 centimètres d'épaisseur, reçoit une position parfaitement horizontale (Pl. IV, Fig. 1). Après avoir déterminé l'axe de la cuve avec la plus grande exactitude, de manière qu'il se confonde avec celui de l'ouvrage, on place la rustine (*b*). Ses côtés, contre lesquels viennent s'appuyer les autres pierres, sont taillés d'après l'évasement prescrit. La partie antérieure de l'ouvrage reste ouverte le plus long-temps qu'il est possible, afin qu'on puisse approcher les matériaux plus commodément. On place les costières (*c*) et l'on continue d'élever l'ouvrage du côté de la rustine. Quoiqu'il serait avantageux que chaque costière ne fût composée que d'une seule pièce, afin qu'on pût éviter le joint, il est rare de pouvoir se procurer de si grandes pierres, parce qu'elles doivent dépasser la rustine de toute son épaisseur; on est donc obligé de les composer, ce qui donne lieu aux arrière et aux avant-costières.

Sur les arrière-costières, on place les pierres de tuyère (*d*), dans lesquelles sont creusées des ouvertures qui doivent être assez grandes pour qu'on puisse enlever et replacer les tuyères avec facilité *. Si l'on n'emploie qu'une seule tuyère, la pierre qui lui est opposée s'appelle le contre-vent. Sur les pierres de tuyère ou sur le contre-vent, on range des pierres moins grosses (*ee*). La rustine composée quelquefois de différentes pièces, est élevée d'abord jusqu'à la naissance des étalages, supposé toujours que le fourneau n'ait que deux ou trois embrasures.

---

* Si la costière était très-épaisse, on y pratiquerait une partie de l'excavation qui doit servir de logement à la tuyère. Lorsque cette dernière doit être en argile, on encastre dans la costière une plaque de fonte qui remplace le plat de la tuyère et sur laquelle s'appuie la buse.

Le T.

Après avoir achevé la construction des trois faces de l'ouvrage, on place sur la partie antérieure des deux costières une grosse pierre (*f*) surmontée de plusieurs autres qui sont plus petites (*g*). La première qu'on appelle la tympe, vient s'appuyer contre la pierre de tuyère et contre celle du contre-vent. Les costières la dépassent et forment par leur prolongement l'avant creuset, couvert en partie par la tympe. Enfin les quatre faces de l'ouvrage se terminent au même plan horizontal. Pour fermer le creuset par devant, on place entre les costières une pierre appelée *dame* * (*h*). Le creuset reste alors ouvert en partie par le haut; de sorte que, si l'on appuie les ringards sur la dame, on peut, en les glissant sous la tympe, atteindre jusqu'à la rustine et à tous les points qui sont à la hauteur et au-dessous de la tuyère **. On doit conserver ensuite entre la dame et l'une des costières, une ouverture de 6 à 8 centim.; c'est le trou de la coulée, qui règne dans toute la hauteur du creuset, et qu'on bouche avec de la terre glaise : la largeur de la dame est donc de 6 à 8 cent. plus petite que l'écartement des deux costières.

751. La tympe soumise plus que toutes les autres pierres aux changemens de température, souffre davantage pendant le travail du fourneau. Pour empêcher qu'elle ne se fonde et pour la garantir du contact de l'air, on la garnit à l'extérieur avec une plaque de fonte, d'une forte épaisseur. Cette plaque repose quelquefois sur une barre de fer de 8 centim. d'équarrissage, disposée en travers sur les deux costières. Il en résulte un grave incon-

---

* Ce mot vient de l'allemand *damm*, qui signifie digue, parce que cette pierre forme une digue qui retient la fonte dans le creuset.
Le T.

** La dame est de plusieurs pouces plus basse que la surface inférieure de la tympe, afin de faciliter le travail du fondeur. Le T.

vénient; le fer se déjette et laisse un passage à la flamme qui le détruit très-promptement. Pour y remédier, on se sert à Gleiwitz depuis long-temps d'une plaque de tympe trapézoïdale pourvue d'un rebord; elle est représentée par la Fig. 21 Pl. IV. On la fixe contre la tympe au moyen de coins, sa face intérieure est revêtue d'une forte couche d'argile, son rebord protège l'arête vive de la pierre de tympe : cette plaque peut d'ailleurs se changer très-facilement *.

752. L'espace compris entre les pierres de l'ouvrage et le muraillement extérieur, se remplit avec des briques ou des pierres concassées, etc, etc. Il est essentiel de murer la tympe et la pierre de tuyère, autant qu'il est possible, pour les dérober à l'influence de l'air extérieur, sans empêcher cependant qu'on puisse approcher du creuset et de la tuyère.

Le quadrilatère formé par l'extrémité supérieure de l'ouvrage, se rattache, par les étalages, aux parties de la cuve qui sont restées intactes. Les parois se construisent ordinairement en briques réfractaires.

753. Les ouvrages en terre réfractaire (747) sont plus faciles à exécuter que ceux dont nous venons de parler, et ils offrent aussi une plus grande durée, lorsque l'argile est de bonne qualité. Voici le procédé qu'on emploie pour les confectionner :

Après que l'ancien creuset a été enlevé, et qu'on a

* Cette espèce de plaque est employée aussi dans les usines de l'arrondissement de la Moselle. Elle exige quelques précautions de la part des ouvriers, lorsqu'elle est neuve. Pendant les premiers jours elle est très-sujette à se fondre, plus tard elle devient aussi réfractaire que le fer ductile, et dure alors plus long-temps que les fers de tympes usités anciennement.

nettoyé le fourneau, on place dans la cavité un grès réfractaire de $1^m,70$ de longueur, sur 65 à 85 centimètres de largeur, et 35 à 40 centimètres d'épaisseur, parallèlement aux marâtres et de manière qu'il dépasse le creuset de 16 à 18 centimètres. La dame doit reposer sur cette pierre, qui présente un appui à l'argile dont on compose le reste de la sole et l'empêche aussi d'être endommagée du côté antérieur, lorsque le fourneau est mis en activité. On remplit avec de la maçonnerie réfractaire les vides laissés aux deux extrémités du grès.

En arrachant l'ancienne sole, on laisse subsister ce qui peut servir encore: on couvre les anciens matériaux restés en place, avec plusieurs couches d'eau argileuse un peu épaisse, formant une liaison entre la terre ancienne et la terre nouvelle. On commence ensuite à remplir l'excavation avec la pâte préparée d'avance. On procède pour cet effet par couches de 10 à 12 centimètres d'épaisseur, qu'on dame avec la plus grande force, jusqu'à ce que la terre résiste à la pression, et qu'elle se lève par écailles; après avoir pratiqué dans la couche damée de petites raies ou cavités, des espèces d'amorces pour que la couche suivante puisse faire corps avec la première, on jette de la nouvelle terre qu'on dame aussi; et ainsi de suite jusqu'à ce qu'on soit parvenu au niveau du grès réfractaire mis d'abord en place. Avant d'introduire de nouvelle terre dans le fourneau, on doit toujours revêtir les parois de l'ancienne maçonnerie avec de l'eau argileuse, afin que la terre puisse y adhérer.

La sole entière s'achève ordinairement en trois ou quatre couches successives. On l'applanit en grattant la terre qui est de trop et en y appliquant un niveau. Ayant déterminé sur cette sole le point de rencontre avec l'axe du fourneau, on trace la partie inférieure du creuset, et l'on pratique les amorces voulues pour la confection des costières et de la rustine.

On place d'abord sur le devant aux extrémités des faces latérales deux pierres réfractaires C, C (Fig. 24) de $0^{m},55$ de longueur et d'une épaisseur égale à la profondeur qu'on veut donner au creuset. Ces pierres doivent être contenues dans la maçonnerie de manière qu'elles ne puissent se déplacer; on y fait d'ailleurs les entailles nécessaires pour recevoir les plaques de côté. Le but de ces pierres est de présenter un appui à la terre réfractaire et d'empêcher les dégradations que produiraient la coulée et la mise à feu.

Cela fait, on introduit entre les deux pierres C, C la caisse de bois (D) autour de laquelle on veut damer la terre réfractaire. Cette caisse se compose de deux faces planes, liées l'une à l'autre du côté de la rustine par une face demi-circulaire (Fig. 22 et 24). Les faces latérales sont pourvues intérieurement de liteaux I, I; afin qu'on puisse y placer des pièces de bois destinées à servir d'appui aux planches et à prévenir que la caisse ne soit écrasée par le battage. Après avoir enduit d'une épaisse couche d'eau argileuse les anciens matériaux, on jette, autour de la caisse, la terre qu'on dame fortement avec des battes en fer, en procédant par couche de 10 à 12 centimètres d'épaisseur, ainsi que nous l'avons déjà indiqué, jusqu'à ce qu'on soit arrivé au niveau de la surface supérieure des pierres C, C. La largeur *ab* du pisé (Fig. 24) est de 30 à 33 centimètres.

Lorsque l'espace laissé autour de la première caisse a été rempli, on pose au-dessus de celle-ci une autre caisse (F) qui est circulaire en forme de tronc de cône, ayant 50 centimètres de hauteur. Toutes les deux ainsi que les hausses suivantes, se divisent exactement en deux parties par un plan passant par l'axe, afin qu'on puisse les retirer avec plus de facilité.

On consolide les caisses rondes par des traverses en

croix. Des pièces de bois de forme conique E, E servent de noyau pour les trous de tuyère; on les fixe à la caisse ronde, en les clouant du côté intérieur, et à l'extérieur, on les fait appuyer contre la maçonnerie, pour leur donner une position invariable. Deux plaques de fonte GG (Fig. 24 et 26) planes en dessous, et cylindriques en dessus, pourvues chacune de deux pattes, sont placées ensuite contre la deuxième caisse F, et de manière qu'elles appuient sur les parois latérales du creuset; elles servent à borner en dessous le massif qui doit former la tympe. Sur le devant de ces plaques, on construit tout de suite une petite voûte en briques réfractaires (H Fig. 25), de $0^m,15$ de largeur, pour servir d'appui à la terre argileuse. On place les plaques de côté L, L qui, par l'une de leurs extrémités, s'appuient contre la marâtre, et dont l'autre entre dans la pierre de fond A qui termine la sole; elles sont d'ailleurs encastrées dans les deux pierres C, C, ainsi qu'on le voit par les Fig. 24, 25 et 26. Cela fait, on élève des deux côtés la maçonnerie.

Lorsqu'on emploie un fer de tympe K, on le couvre d'une épaisse couche de pâte argileuse, et on le place dans un logement pratiqué dans la maçonnerie réfractaire (Fig. 25 et 26). Quand ensuite la maçonnerie extérieure s'est élevée au niveau de ce fer, on place la plaque de tympe enduite à l'intérieur d'une couche d'argile; on la maintient au moyen d'étançons, et on l'assujettit ensuite par des coins de fer.

Ces dispositions étant prises, on amorce la dernière couche, on enduit l'ancienne maçonnerie d'eau argileuse, on introduit de la terre dans le fourneau et l'on dame de nouveau, etc. On continue d'élever la voûte et la maçonnerie en même temps qu'on exécute le damage. La tympe exige le plus de soins: c'est au-dessus des plaques de fonte GG, que la terre doit être le plus fortement da-

mée. Lorsqu'on est parvenu au bord supérieur de la plaque de tympe, on pose au-dessus de celle-ci (Fig. 25) une autre plaque *o* un peu plus large, et s'appuyant sur la première maratre du fourneau; enfin on achève la maçonnerie qui est en dedans et celle qui est à droite et à gauche des plaques L,L(Fig. 25 et 26), pendant le damage effectué autour de la quatrième caisse (P). On aplanit le pisé, et l'on construit tout de suite les étalages en briques réfractaires de 50 centim. de longueur et coupées par devant, selon la pente qu'on veut donner. Cette construction étant achevée, les caisses sont retirées par pièces séparées; on enlève aussi les blocs de bois qui ont servi de noyaux pour les trous de tuyère; on nettoie l'intérieur du creuset et l'on en recouvre les parois d'un enduit de terre réfractaire délayée dans l'eau *.

754. La hauteur de l'ouvrage dépend de celle du fourneau: elle n'a que $1^m,30$ dans les fourneaux de 5 à 6^m d'élévation; $1^m,55$ à $1^m,70$ dans les fourneaux de $7^m,50$ à $9^m,50$ de hauteur; $1^m,90$ dans les fourneaux qui sont plus élevés encore, et le plus souvent 2^m dans les fourneaux alimentés avec du coke. Il existe, au reste, un certain rapport entre les dimensions du foyer, la nature des minérais, la qualité du combustible, la force du vent, la hauteur et la largeur du fourneau **.

---

* Il est évident que la première caisse ronde E ne peut se superposer entièrement sur la caisse carrée D, qu'il doit en résulter alors des ressauts qu'on est obligé d'enlever à la truelle, pour faire le raccordement des surfaces. Le T.

** La hauteur et la largeur de l'ouvrage doivent être réglées non seulement d'après les dimensions des fourneaux, la nature des minérais, des combustibles et la force des machines soufflantes; mais aussi d'après la fonte qu'on veut obtenir. Voyez la note que nous avons ajoutée au paragraphe 728. Le T.

DES DIMENSIONS QU'IL FAUT DONNER AUX HAUTS FOURNEAUX EU ÉGARD AUX MATIÈRES QU'ON EMPLOIE.

755. Pour juger des dimensions qu'il faut donner à la cuve et à l'ouvrage, il est nécessaire de se rappeler les phénomènes de la réduction des minérais : c'est en général la nature et la qualité des matières premières qu'on doit considérer pour cet objet, ainsi que pour la force qu'il faut donner à la machine soufflante; et il est pourtant rare qu'on y ait suffisamment égard. Bien que la réduction des minérais, la carburation du métal et la fusion soient des opérations parfaitement distinctes, elles ne se succèdent jamais de la même manière, à cause des variations qu'offrent les propriétés des matières premières et la température des foyers. Le plus souvent la réduction précède de beaucoup la fusion, à moins toutefois qu'on ne traite des silicates dont il faut diminuer la fusibilité par des additions convenables.

Chaque morceau de minérai se réduit progressivement depuis la surface jusqu'au centre, et la carburation commence seulement lorsque le noyau se trouve à l'état métallique, elle continue ensuite, jusqu'à ce que le fer soit saturé de carbone (305 et 306). Une température très-élevée favorise la réduction, un défaut de chaleur la retarde. Si donc le fer réduit, mais non saturé de carbone, arrive à la région où doit s'effectuer la fusion, il se liquéfie difficilement et subit un déchet considérable. Les morceaux de minérais ne se trouvent pas tous dans le même état, quand ils se présentent devant la tuyère; l'expérience l'a fréquemment constaté. Il doit en être ainsi, parce que leur grosseur est très-variable, qu'ils sont plus ou moins favorisés par leur position, et que les changements qu'ils éprouvent se succèdent avec une grande

rapidité : il s'ensuit que les uns seront parfaitement réduits et saturés de carbone, tandis que les autres ne le seront qu'en partie.

Ce défaut d'homogénéité doit être d'autant plus prononcé, que les fourneaux sont plus petits, surtout lorsque, par une forte charge de minérais, la chaleur ne peut acquérir une grande intensité. Alors on verra devant la tuyère des morceaux reduits, d'autres qui se trouvent à l'état d'oxide, et d'autres enfin qui sont déjà carburés. L'oxigène des uns servira donc à décarburer les autres, et la fusion des matières étrangères ne pourra s'opérer à un si faible degré de chaleur que par une grande dose d'oxidule de fer qui restera dans le laitier. Si la température était plus basse encore, la petite quantité de fer réduit ne pourrait pas même entrer en liquéfaction ; il se formerait des engorgemens qui obstrueraient le fourneau.

A proportions égales de combustibles et de minérais, la partie de fer non réduit restée dans les scories doit donc être beaucoup plus forte si le haut fourneau est petit, qu'elle ne le serait dans celui qui aurait de grandes dimensions ; le laitier sera plus riche en fer et le métal plus pauvre en carbone, à moins toutefois que le vent donné à ces petits fourneaux, ait une très-faible pression et que la descente des charges soit la plus lente possible. Dans ce cas, le produit serait très-faible et l'on brûlerait trop de charbon pour la quantité de fonte obtenue.

Si le fer a eu le temps de se réduire complètement et de se saturer de carbone, en prenant un atôme de ce corps sur deux atômes de métal, et si en même temps les autres circonstances sont telles qu'il ne puisse s'arrêter long-temps au point où règne la plus forte chaleur, on obtiendra de la fonte blanche lamelleuse, jointe à un laitier pur ou pauvre en fer. Ces produits se formeront particulièrement lorsque le minérai sera à la fois fusible

et facilement réductible, parce que le laitier et la fonte doués d'une grande liquidité, descendront très-rapidement. — Lorsqu'on rend le mélange de minérais et de fondans plus réfractaire, et qu'on en diminue la charge, pour élever le point où s'effectue la fusion, *la fonte blanche lamelleuse se change en fonte grise, et abandonne pour cet effet une partie de son carbone,* qui réagit ensuite sur les substances oxidées les plus réductibles, telles que l'oxidule de manganèse, la silice et l'oxidule de fer : ces substances réduites entreront alors en combinaison avec la fonte. Il s'ensuit que les scories obtenues seront d'autant plus pauvres en fer, et la fonte sera d'autant plus chargée de corps étrangers, qu'elle aura séjourné plus long-temps dans la partie du foyer, où règne la plus haute température; on conçoit donc que la quantité de carbone contenue dans la fonte grise, doit être très-variable et ne peut s'élever entièrement à celle qui est renfermée dans la fonte blanche lamelleuse *.

---

* M. Karsten paraît supposer dans ce passage, que la fonte grise encore liquide contient du carbone libre, ce qui serait contraire à l'opinion manifestée précédemment (tome 1er, page 250). Mais ses raisonnemens subsisteraient encore si la fonte grise liquide ne contenait point de carbone libre : les corps oxidés qui composent les laitiers, exposés longtemps en contact avec la fonte à une haute température, se réduiraient en partie par l'action du carbone combiné et entreraient en combinaison avec le fer. Cependant il nous paraît plus conforme aux faits de supposer qu'il existe du carbone libre dans certaines fontes grises liquides. Voici de quelle manière nous avons envisagé cette question dans une note ajoutée à la première édition, tome 1er, page 480.

Il existe une grande différence entre la fonte grise et la blanche considérées à l'état liquide. Sous le rapport de leurs propriétés physiques, elles diffèrent entre elles par la couleur, la liquidité, la pesanteur spécifique, lors même qu'elles renferment d'égales doses de carbone. Elles doivent donc différer l'une de l'autre par la manière dont elles contiennent cette substance Il nous semble d'ailleurs qu'on ne peut supposer que le graphite ou carbone se sépare seulement du métal au moment de la

756. Il fut admis pendant long-temps que la fonte blanche contenait moins de carbone que la grise. Cette opinion était fondée sur la supposition toute gratuite que la fonte blanche renfermait une certaine quantité d'oxigène. On ne peut nier que la fonte grise ne soit produite uniquement dans le cas où la dose de charbon est plus forte qu'elle ne devrait l'être pour opérer la réduction des oxides; mais il ne s'ensuit pas que la fonte blanche soit obtenue parce que le carbone, considéré comme réactif, ait manqué dans l'opération; car l'expérience journalière nous prouve que la fonte blanche qui résulte d'une allure très-dérangée, exige pour sa formation plus de combustible que n'en demande la fonte grise.

Qu'on n'objete pas le fait d'expérience qu'un vent fort produit souvent de la fonte blanche; car si le courant d'air est plus fort, les descentes des charges sont plus rapides, et la proportion de charbon et d'oxigène

---

congélation, puisque les fontes très-grises en donnent déjà une grande quantité qui surnage, lorsqu'elles sont encore liquides, et à l'instant même où elles sortent du fourneau. On est donc obligé de croire qu'il existe du carbone à l'état de mélange dans la fonte grise liquide, et que la viscosité de la matière l'empêche de se dégager et de gagner la surface.

Comme la fonte grise doit presque toujours son origine à une chaleur intense et soutenue, on doit penser qu'une haute température dispose le carbone à la cristallisation et le force d'abandonner le fer: il est vrai de dire qu'un très-lent refroidissement peut produire sur le carbone de la fonte blanche, un effet analogue, puisque cette fonte, mise en fusion à un degré de chaleur assez ordinaire et refroidie dans le creuset avec une extrême lenteur, devient grise; mais cette fonte diffère pourtant de celle qui est sortie grise des hauts fourneaux et sur-tout des fourneaux à coke; ne serait-ce que parce qu'elle est bien plus disposée à devenir blanche. Au reste, si l'abandon d'une partie du carbone est dû à la cristallisation provoquée par une haute température, il n'est pas surprenant que cette cristallisation soit aussi favorisée par un très-lent refroidissement. Le T.

n'est pas changée; il s'ensuit donc que le rapport du charbon au minérai reste le même: dans ce cas le métal n'a pu séjourner assez long-temps à une température élevée pour se changer en fonte grise.

757. Les minérais fusibles, tels que les silicates y compris les scories de forges, sont très-disposés à donner de la fonte blanche. Si l'on est obligé de les traiter pour fonte grise, soit qu'elles contiennent du soufre, soit qu'on veuille employer le fer cru après une seconde fusion, on consomme plus de charbon qu'on n'en brûle pour réduire des minérais réfractaires de même richesse, parce qu'on est obligé de leur ajouter des matières stériles pour les rendre moins fusibles. C'est aussi pour cette raison que des minérais réfractaires donnent de la fonte blanche par une trop forte addition de fondans, à moins que la charge ne soit très-légère. Pour obtenir de la fonte grise avec un mélange de minérais et de fondant trop fusible, on diminue le vent afin de ralentir la descente des charges; mais dès que l'effet est obtenu, il faut rendre au fourneau un plus fort degré de chaleur par une augmentation de vent et par une diminution de charge.

758. D'après les observations qui ont été faites jusqu'à présent, on obtient de la fonte blanche:

1° Par une trop grande fusibilité des minérais, ou ce qui revient au même, par un excès de fondans, par des charbons légers, et par un vent trop fort, sans que le fourneau soit déréglé dans sa marche;

2° Par une surcharge de minérais qui, dérangeant le fourneau, donne des laitiers impurs ou chargés de fer;

3° Par des étalages d'une pente trop rapide, et par un vent dont la vitesse est trop grande sans que le laitier devienne impur;

4° Par un manque de chaleur, bien que le laitier soit pur et que le fourneau suive du reste une bonne allure;

5° Par un dérangement du fourneau, qui, sans pouvoir être attribué à une surcharge de minérais, provient de l'irrégularité dans la descente des charges, et des éboulemens qui en sont le résultat, etc., etc.;

6° Par une trop forte compression que la colonne des matières renfermée dans la cuve, exerce sur les couches inférieures. Concentrée alors dans le creuset, la chaleur ne peut s'élever jusqu'aux étalages et au ventre. Du reste, l'allure du fourneau paraîtra bonne, les scories et la flamme ne donneront aucun signe de dérangement;

7° Par un foyer très-large;

8° Par une grande quantité de cendres et de charbon minéral renfermé dans les cokes (563), ce qui empêche le foyer de s'élever au degré de chaleur nécessaire. On peut remédier à un excès de cendres par un mélange convenable de minérai et de fondant, mais on est obligé de diminuer la charge considérablement; le laitier devient alors très-visqueux et peut occasionner des engorgemens;

9° Par un refroidissement accidentel du foyer provenant de l'humidité ou d'autres causes.

On obtient de la fonte grise, lorsque tout le fourneau est pénétré d'une chaleur intense, que le vent traverse convenablement la colonne des matières, et sort du gueulard avec régularité, que le laitier n'est ni trop liquide ni trop visqueux, enfin lorsque la température s'élève au plus haut degré dans l'ouvrage.

759. On peut conclure de ce que la fonte blanche contient autant ou même plus de carbone que la fonte grise produite par les mêmes minérais, et de ce que celle-ci se forme seulement dans le cas où la température du fourneau soit très-élevée; on peut conclure, dis-je, que la deu-

xième doit son existence à la première, qui ne demande qu'un haut degré de chaleur pour changer de couleur. D'ailleurs ce changement se prouve directement (148 et suiv.); mais ce n'est pas d'une manière subite qu'il peut s'opérer, bien qu'il soit accéléré par une chaleur très-intense. Entretenus assez long-temps à une haute température, les culots de fonte blanche obtenus dans les essais deviennent gris, sans prendre une plus forte dose de charbon. On sait assez que les opérations chimiques exigent plus ou moins de temps et ne peuvent s'exécuter instantanément.

760. Il résulte de ces faits que la fonte reste blanche, sans que le fourneau soit surchargé, lorsque le point où s'opère la fusion est descendu trop bas, soit qu'il faille en accuser un manque de chaleur, soit qu'on doive l'attribuer à l'élargissement du foyer; mais on obtient aussi de la fonte blanche, lorsque, par un vent fort, le point où s'effectue la fusion est assez élevé au-dessus de la tuyère, et que les matières deviennent très-liquides. Dans ce cas, la réduction, la carburation et la fusion ont été complètes; mais la fonte blanche qui en est le résultat, se dérobe trop promptement à la chaleur concentrée pour pouvoir se changer en fonte grise, ou bien la température qui règne dans l'espace compris entre la tuyère et le point où s'opère la fusion, *n'est pas assez élevée* pour produire ce changement. Le dernier cas se présente surtout dans des hauts fourneaux très-grands, activés avec du coke, lorsque le temps est chaud et que les tuyères sont trop larges. Le fer cru qu'on obtient alors, sans que le fourneau soit dérangé, ressemble à la fonte blanche produite par surcharge de minérais; il est le résultat d'un défaut de chaleur. Ayant cédé de son carbone aux scories, et opéré la réduction d'une partie de manganèse ou de bases

terreuses, il est devenu extrêmement impur. On ne peut l'employer pour la fabrication des objets moulés, étant trop aigre; et par l'affinage, il donne du fer cassant à froid, à cause de la grande quantité de silicium qu'il renferme: de toutes les fontes, c'est la plus mauvaise.

761. Il faut donc distinguer soigneusement la fonte blanche provenant d'une surchage de minérais, de celle qu'on obtient avec une juste proportion de toutes les matières employées à la fusion. Dans le premier cas, la réduction est imparfaite, parce que le fourneau est dérangé; dans le deuxième, les minérais sont réduits complètement. La surcharge de minérais est tantôt l'effet d'une inattention du chargeur, tantôt aussi elle provient d'une plus grande richesse des minérais, ou d'une plus ou moins grande quantité d'eau dont ils sont imbibés; quelquefois aussi, elle est due à l'humidité ou à la légéreté des charbons.

Si l'allure du fourneau avait été dérangée par une semblable surcharge de minérais, il ne faudrait pas augmenter la force du vent, parce qu'on ne pourrait élever ni le point où s'effectue la fusion ni la chaleur qui doit régner dans le reste de la cuve; un courant d'air plus fort ne servirait qu'à refroidir et à durcir la masse fondue.

762. C'est donc toujours un manque de chaleur qui empêche la conversion de la fonte blanche en fonte grise, à moins que la trop grande liquidité de la matière ne la dérobe trop promptement à l'action d'une haute température. Ce dernier cas ne se présente que pour les minérais trop fusibles, ou rendus tels par un excès de fondant; il est possible alors que la vitesse du vent soit proportionnée à la qualité du charbon. En augmentant la dose de minérais, on ferait baisser le point où s'effectue la fusion,

mais on refroidirait le fourneau, ce qu'il faut éviter, lorsqu'il s'agit d'avoir de la fonte grise. Si l'on diminuait cette dose, la fusion s'opérerait plus tôt et la fonte serait soumise un peu plus long-temps à l'action d'une chaleur concentrée; mais la dépense en charbon deviendrait très-forte, et il arriverait néanmoins que la fonte serait seulement *mêlée*, à cause de sa grande liquidité. On n'a donc d'autre moyen que de rendre la charge plus réfractaire, et de diminuer la chaleur dans la partie supérieure du fourneau, en donnant moins de vent, ce qui fait diminuer aussi la rapidité de la descente des charges.

C'est un problème bien difficile à résoudre, que d'obtenir de la fonte grise avec des minérais fusibles, et sans une forte dépense en charbon. Il faut les traiter dans des fourneaux très-larges et très-hauts. Pour économiser le charbon, on doit resserrer l'ouvrage et l'élargir rapidement au-dessus du point où s'opère la fusion; du reste, sa largeur peut augmenter avec la force du vent et la densité des charbons.

763. Si la fonte blanche obtenue n'est pas le résultat d'une trop grande fusibilité des minérais, ni d'une surcharge qu'on reconnait par le poids et la couleur des laitiers, la faute provient alors de la construction du fourneau ou du vent dont la vitesse n'est pas proportionnée à la nature du charbon : quelquefois aussi, c'est à l'une et à l'autre cause qu'on doit l'attribuer.

Il résulte de ces principes, que le danger d'obtenir de la fonte blanche par un courant d'air trop rapide, est d'autant plus grand que le charbon est plus léger et plus inflammable *. On pourrait même s'imaginer un point où la

* Cette fonte blanche, qui se distingue par une texture compacte de la fonte blanche grenue dont il a été question à la fin du paragraphe 760, s'obtient fréquemment avec du charbon frais ou nouvellement cuit. Le T.

fonte resterait toujours blanche, quelle que fût la diminution des charges de minérais, parce que le changement de la fonte blanche en fonte grise exige un bien plus haut degré de température que la réduction et la fusion du minérai. Pour opérer ce changement il faut donner moins de vent, afin qu'on puisse concentrer la combustion dans un espace déterminé, et empêcher que le charbon ne se consume trop vite. En faisant usage de charbon léger, toutes choses étant égales d'ailleurs, on obtient, en employant peu de vent, de la fonte grise en petite quantité, tandis qu'avec un vent fort, on aurait un produit plus considérable en fonte blanche.

Une trop grande rapidité du courant d'air est d'autant moins à craindre que le charbon brûle plus difficilement. On n'obtient jamais de la fonte blanche par excès de vent, si le fourneau est alimenté avec du coke compacte, qui demande un air très-dense, pour développer dans la combustion toute la chaleur qu'il est susceptible de produire. En général, moins les charbons sont inflammables, plus on peut élever le point où s'effectue la fusion, sans craindre qu'ils ne se consument en pure perte; mais alors il faut donner aux étalages une pente plus rapide.

764. Si le charbon brûle avec trop de lenteur, la fonte devient blanche, quoique le minérai soit employé en justes proportions avec le combustible. Dans les fourneaux alimentés avec le charbon végétal, cet accident provient assez rarement d'un courant d'air trop faible ou d'une trop grande ouverture de la buse; il est plutôt le résultat de l'élargissement du foyer. Mais en faisant usage de coke, on obtient quelquefois de la fonte blanche, lors même que l'ouvrage est rétréci. On ne peut l'attribuer qu'à l'air dilaté par la chaleur de l'été ou peut-être aussi à un état électrique particulier. Au reste, ce n'est pas en

diminuant la proportion de minérai, qu'on parvient alors à rendre la fonte grise; il ne reste d'autre moyen que d'augmenter l'activité de la machine soufflante. Dans ce cas, on a pour but d'augmenter l'intensité de la chaleur dans toute la cuve.

765. Enfin il peut arriver aussi que la fonte devienne blanche, et que les laitiers soient légers, lorsque les minérais sont très-réfractaires et sans que le fourneau en soit surchargé. Dans ce cas c'est le refroidissement des régions supérieures de la cuve, ou un obstacle opposé à la circulation du vent qui a fait baisser le point où s'opère la fusion. Si les minérais sont réfractaires de leur nature, on doit élever l'ouvrage, le rétrécir ainsi que la cuve, et donner une pente assez rapide aux étalages. Si le manque de fusibilité est la suite d'un mauvais choix des fondans ou des fautes commises dans le grillage et le bocardage, on doit diminuer, pour le moment, le courant d'air et lui rendre toute sa force après qu'on a remédié au mal.

Si le vent ne peut circuler, ni sortir par le gueulard, on obtient de la fonte blanche, lors même qu'il règne une chaleur intense dans l'ouvrage; on doit en accuser alors ou la forme des étalages dont la pente est trop rapide, ou celle de l'ouvrage, dont l'évasement est trop considérable, ou enfin la compression du combustible. Cette compression provient soit des charbons menus qui se rapprochent de la nature du fraisil au moment où ils sont introduits dans le fourneau, soit des charbons qui, détériorés par l'humidité, éclatent et se réduisent en petits fragmens, lorsqu'ils éprouvent l'action de la chaleur. Cet effet a lieu principalement dans les fourneaux alimentés avec du coke contenant une forte dose de charbon minéral. Le fraisil forme une brasque qui obstrue l'intérieur de l'ouvrage et ferme le passage à l'air;

le vent forcé alors de sortir par le creuset, peut entraîner avec lui du laitier et du fer cru. C'est aussi pour cette raison que le coke trop boursoufflé est d'un mauvais emploi, parce qu'il est trop sujet à s'émietter.

766. Quand le foyer s'élargit trop fortement, la chaleur n'est plus assez concentrée. Pour parvenir alors à une séparation complète des matières, on doit ou diminuer la dose de minérais, ou augmenter la force du vent. Mais cette dernière ressource a ses bornes; parce qu'une partie du charbon, s'il était léger, brûlerait en pure perte, et que, pour le coke compacte, il serait impossible d'augmenter le courant d'air au degré convenable. Dans un si large foyer, les matières ne sont plus assez bien retenues, le charbon ne produit plus son maximum d'effet, les minérais tombent par masses dans le creuset où ils ne subissent qu'une réduction imparfaite: plus ils sont réfractaires, plus la séparation du fer d'avec les scories est incomplète et plus la consommation en charbon est considérable, sur-tout lorsqu'on tâche d'avoir de la fonte grise; mais dans ce cas on obtient ordinairement un mélange des deux espèces de fer cru, et une grande partie des minérais entre en vitrification.

767. Il faut donc que le fourneau qui doit produire de la fonte grise, reçoive dans toutes les parties de la cuve, depuis le gueulard jusqu'à la sole, des degrés de chaleur convenables et proportionnés à la nature du minérai et du combustible; c'est une condition *sine quâ non.* La fonte blanche ne peut se convertir en fonte grise:

1° Si, par une surcharge de minérai, la température est trop abaissée;

2° Si, malgré un dosage convenable, les matières ne peuvent, à cause de leur extrême liquidité, séjourner le

temps convenable dans la partie du fourneau où la température est le plus élevée (760, 762);

3° Si l'ouvrage seulement manque de chaleur et que la cuve ait reçu le degré de température nécessaire; effet qui proviendrait d'un vent trop fort ou d'un charbon trop léger (763);

4° Si en vertu d'une trop lente combustion, la cuve et l'ouvrage manquent de chaleur à la fois (760 et 764);

5° Si le minérai, sans y être préparé, est exposé subitement à la plus haute température (765);

6° Enfin, si le foyer se trouve élargi, de manière qu'il ne soit plus possible d'y concentrer la chaleur (766).

On peut demander, s'il est en général nécessaire que la fonte soit grise, et s'il ne vaudrait pas mieux prendre ses dispositions de manière que le fourneau, sans être dérangé, donnât de la fonte blanche, parce que la consommation du combustible serait moindre? Nous répondrons à cette question plus tard; pour le moment nous observerons, qu'on doit toujours produire de la fonte grise, lorsqu'on veut fabriquer des objets moulés. D'un autre côté, les hauts fourneaux à coke ne pourraient pas donner de la fonte blanche par surcharge de minérais, puisqu'ils courraient risque de s'engorger et que la fonte blanche grenue, qui dans ces foyers est accompagnée de laitiers purs, passe rapidement à l'état de fer ductile, et donne un mauvais produit, étant soumise à l'affinage. On tâche donc le plus souvent d'obtenir de la fonte très-grise*; bien qu'elle contienne une plus grande quantité

* Dans le travail des hauts fourneaux à coke, on distingue soigneusement la fonte pour seconde fusion de la fonte de forge: la première beaucoup plus grise que la deuxième, exige plus de combustible pour sa formation, s'obtient en moindre quantité, se change difficilement en fin métal et donne des produits moins bons que ceux qu'on obtient par la fonte de forge qui doit être grise claire ou mêlée. Le T.

de substances étrangères que n'en renferme la fonte blanche, excepté toutefois celle qui est produite à une très-basse température et dont il a été question vers la fin du paragraphe 760. La fonte grise obtenue avec du coke chargé de cendres et donnant peu de chaleur, renferme beaucoup de métaux terreux; mais la fonte blanche obtenue avec le même combustible, ne contiendrait guère moins de ces métaux et deviendrait tellement épaisse qu'on pourrait à peine la faire sortir du fourneau: elle serait encore plus mauvaise que l'autre. La production de la fonte blanche occasionnerait beaucoup d'embarras pendant l'affinage, elle donnerait lieu à une perte de temps et de combustible, si l'on voulait en retirer de bon fer. On ne peut donc chercher à obtenir cette fonte que par le traitement de minérais purs effectué au charbon de bois.

768. Une allure trop chaude est aussi très nuisible; il en résulte toujours un déchet considérable et un laitier visqueux, qui éteindrait le feu si l'ouvrage s'était déjà élargi; parce que le vent ne pourrait traverser la masse du combustible et que la chaleur ne serait pas assez forte pour ramollir les matières durcies et attachées aux parois du foyer *: il y a bien moins à craindre si l'ouvrage est neuf et resserré. Il ne faut pas négliger les premiers indices de cette marche, l'obscurcissement de la tuyère. On doit ralentir aussitôt le mouvement des machines soufflantes et faire sortir du foyer les masses durcies **. Les hauts fourneaux alimentés avec du char-

* Ces laitiers deviennent très-visqueux, parce qu'ils sont trop pauvres en silicates de fer. Le T.

** Un excellent moyen qu'on peut employer pour corriger cette marche, c'est de remplacer le quart ou le cinquième de la charge de minérais par des scories de forges, provenant des fours pudlings, ou par toutes autres scories crues. Dès que ces nouvelles charges arrivent

bon de bois sont plus faciles à conduire dans ces sortes de circonstances; malgré cela, il est essentiel de diminuer le vent. Quelquefois on introduit dans le fourneau un peu de sable fin ramassé sur la plate-forme du gueulard : ce sable coule entre les charbons, arrive dans l'ouvrage, fond et dissout les matières figées; mais ce sont des moyens qui ne doivent servir qu'à la dernière extrémité.

Il ne faut pas confondre les laitiers dont nous venons de parler avec les laitiers visqueux qu'on obtient, surtout dans de petits fourneaux, en traitant des minérais très-réfractaires, ou mal grillés ou mal bocardés. Dans ce cas, on doit élever la chaleur dans l'ouvrage en augmentant la vitesse du vent, afin de liquéfier les matières qui salissent la tuyère et la recouvrent d'une voûte. Les cokes impurs mêlés des chistes, particulièrement les cokes boursoufflés, produisent cet effet qu'on ne peut empêcher qu'à force de fondans *.

769. Les cendres du charbon de bois, contenant une grande quantité de carbonate de chaux, sont beaucoup plus fusibles que les cendres de coke, composées en majeure partie d'alumine et de silice. Ces cendres produisent quelquefois un laitier si visqueux qu'il occasionne des engorgemens à la moindre diminution de température. Pour prévenir ces accidens au commencement de la campagne, on ajoute souvent au minérai un dixième ou un huitième de laitiers parfaitement vitrifiés, afin de remplir le foyer, de l'échauffer, d'absorber le fraisil et les cendres qui refroidiraient la sole. Au reste, nous avons déjà fait sentir

---

dans le creuset, le laitier devient abondant et liquide, les masses se dissolvent, la tuyère s'éclaircit, l'ouvrage se débarrasse, et en peu d'heures le fourneau est parfaitement purgé. Le T.

* On y remédie très-bien par le moyen que nous avons indiqué dans la note précédente. Le T.

la nécessité de bien choisir et de bien proportionner les fondans, afin que le mélange ne devienne ni trop réfractaire ni trop fusible. Dans le premier cas, le laitier qui serait trop liquide, ne pourrait défendre le fer contre l'action du vent; il en résulterait d'ailleurs un balancement des matières contenues dans le creuset, ce qui fait figer une partie de scories ou de fonte. Trop tenaces, les laitiers ne se laissent pas facilement traverser par les gouttes de métal dont ils retiennent une assez grande quantité.

770. Quelque simple que paraisse le travail des hauts fourneaux, puisqu'il ne s'agit que d'entretenir la température à un degré convenable pour obtenir de la bonne fonte, on éprouve cependant des difficultés dans l'application de ce principe; parce que chaque minérai et chaque combustible exigent un traitement particulier: ces difficultés augmentent à mesure que les minérais sont plus réfractaires et que les cokes sont plus compactes.

En traitant un minérai fusible avec du charbon de bois d'une bonne qualité, on peut négliger, à bien des égards, les règles relatives à la construction des fourneaux: le travail peut suivre une bonne marche, lors même que la forme de l'ouvrage est vicieuse, et que la pente des étalages n'est pas proportionnée à la combustibilité du charbon, ni au dègré de fusibilité du minérai; on n'en éprouve d'autre inconvénient que de consommer une plus grande quantité de combustible. Il en est tout autrement avec les fourneaux à coke: si l'on commettait des fautes de cette nature dans leur construction, on ne pourrait ni régulariser leur marche ni obtenir de la fonte grise. Mais, si les défectuosités dans la construction des fourneaux à charbon de bois entraînent après elles une plus grande dépense de combustible, il est de l'intérêt des maîtres de

forges de soumettre la forme donnée par l'usage, au raisonnement basé sur une saine théorie, et de ne pas suivre la vieille routine, sous prétexte d'avoir obtenu jusqu'alors de bonne fonte.

771. Il n'est pas indispensablement nécessaire que les fourneaux aient une grande hauteur, pour qu'ils puissent produire de la fonte grise; on peut l'obtenir lors même qu'ils sont très-bas, si l'ouvrage est assez resserré; mais il n'est pas moins vrai que dans les fourneaux qui ont peu d'élévation, les minérais passent trop rapidement à une haute température; ce qui rend la séparation des matières d'autant plus incomplète que ce minérai est plus fusible. S'il était réfractaire, il pourrait se réduire parfaitement dans ces sortes de foyer; mais la fonte blanche ne resterait pas assez long-temps exposée à la plus forte chaleur; elle se changerait d'autant moins en fonte grise que le vent serait plus fort.

Les petits fourneaux sont donc désavantageux, ils consomment trop de charbon (755), et les laitiers sont en outre trop chargés de métal. Trop sujets d'ailleurs à être refroidis par des circonstances accidentelles, ils subissent des variations considérables dans leur allure, et si, pour remédier à cet inconvénient, on donne à l'ouvrage une élévation disproportionnée à celle de la cuve, on parvient à obtenir de la fonte grise, mais le produit journalier en est diminué. Les minérais arrivant trop tôt dans l'ouvrage, ne sont pas suffisament préparés, et contiennent encore des matières vaporisables: d'où il suit que les charbons doivent en porter une moindre quantité, puisque le dégagement des gaz, la réduction et la fusion s'exécutent presqu'en même temps. Il est donc incontestable que les fourneaux qui ont plus de hauteur, produisent une grande économie en combustible, et peuvent avec de plus fortes doses de minérais donner presque les mêmes espèces de fonte.

772. Plus le fourneau est élevé, toutes choses égales d'ailleurs, plus la température du gueulard doit diminuer, puisque la partie supérieure de la cuve est alors plus éloignée du point où s'opère la fusion. Des charbons légers, qui ne développent pas une grande quantité de chaleur, une faible machine soufflante, qui donne peu de vent, bien que l'air expiré par la buse puisse avoir la pression convenable; ces charbons et ces soufflets, dis-je, qui ne pourraient échauffer la partie supérieure de la cuve, rendraient une grande hauteur superflue: elle serait même nuisible, si le vent n'était pas assez fort pour traverser la colonne des matières et pour sortir par le gueulard. Lorsque le charbon de bois est compacte et que la machine soufflante est assez puissante pour fournir beaucoup de vent avec la pression convenable, on doit donner aux fourneaux une grande élévation, afin d'utiliser toute la chaleur développée par le combustible.

Des minérais qui contiennent beaucoup de zinc, dont l'oxide, après avoir été volatilisé, se dépose et rétrécit la partie supérieure de la cuve, ne peuvent être traités dans les fourneaux d'une grande hanteur, parce que la formation de la cadmie est favorisée par une grande distance du gueulard au foyer de la chaleur : lorsque ces dépôts retombent dans l'intérieur du fourneau, ils absorbent beaucoup de calorique pour se volatiliser de nouveau.

Les fourneaux à coke, qui reçoivent toujours un vent rapide, doivent être très-hauts, afin que toute la chaleur produite par le combustible soit mise à profit. On peut admettre en principe général que la hauteur des fourneaux doit être proportionnée à la force du vent et à la compacité du charbon. Si le charbon est pesant et que la machine soufflante soit faible (quoique le vent puisse avoir la pression convenable), on ne doit pas donner une grande hauteur au fourneau. Il en serait presque de même, si

le charbon était très-léger et que la machine soufflante eût une grande force; on pourrait alors accélérer la descente des charges, en lançant dans le foyer une grande masse d'air, mais on ne parviendrait pas à élever la température à un très-haut degré.

Non-seulement un fourneau d'une grande hauteur, est plus dispendieux à construire, mais il exige aussi des machines particulières pour le transport des matières sur la plate-forme du gueulard; tandis qu'une simple rampe suffit à cet effet pour les petits fourneaux. C'est pour cette raison qu'on ne doit pas donner à ces foyers une élévation superflue. Si le charbon était très-léger, s'il provenait de bois de sapin et que la machine soufflante fût faible, une hauteur de 6 à 8 mètres serait suffisante; mais la production journalière serait très-petite, et l'on ne pourrait hâter la descente des charges, sans occasionner une grande consommation de combustible; parce que les minérais ne seraient pas suffisamment préparés, en arrivant au foyer de la chaleur.

En disposant de soufflets qui puissent fournir un volume d'air assez considérable sous la pression voulue, on doit donner aux fourneaux au moins $9^m,50$ d'élévation, lors même que les charbons sont légers.

Si le charbon est de bois dur et que la machine soufflante ait le degré de force nécessaire, le fourneau ne doit jamais avoir moins de 11 mètres de hauteur. Une plus grande hauteur est préjudiciable lorsque les minérais contiennent du zinc, à moins qu'on ne dispose d'un vent très-fort.

Les fourneaux à coke doivent avoir, selon la qualité du combustible, 13 à $15^m,50$ de hauteur, afin que toute la chaleur dégagée puisse servir à la réduction du minérai *.

* En Angleterre on donnait anciennement une très-grande hauteur aux

773. Il faut aussi que la grosseur des charbons et la nature des minérais entrent en considération : de gros charbons non friables et des cokes un peu boursoufflés doivent être brûlés dans des fourneaux plus élevés que ceux où l'on brûle des charbons qui s'écrasent, et de petits cokes susceptibles de se serrer fortement. Cependant, si les minérais traités avec ces petits charbons ne sont pas terreux ou ocreux, ils pourront laisser assez de passage au vent. Quant aux minérais pulvérulens, on doit craindre qu'ils ne coulent au travers des couches de charbons, si la pression de la colonne de matières est considérable. Il faut donc employer des fourneaux moins élevés pour ces sortes de minérais traités avec de petits charbons.

774. Lors même que le fourneau est construit selon les règles de l'art, le succès de l'opération peut encore être imparfait, si la vitesse du vent n'est pas proportionnée à la nature du combustible. Un air dont la pression est trop faible, n'opére qu'une lente combustion, quand même il est porté en grande masse dans le fourneau ; la chaleur ne peut alors acquérir une forte intensité. Un vent trop rapide consomme les charbons promptement et sans qu'ils puissent produire tout leur effet ; souvent même il les pousse vers le contre-vent, ce qui peut occasionner des descentes obliques ; il élève outre mesure le point où doit s'opérer la fusion. On doit donc chercher avant tout la vitesse du courant d'air qui convient à la na-

---

fourneaux ; mais depuis quelques temps, on a reconnu qu'une élévation de plus de 48 à 50 pieds anglais (15 mètres) était plutôt nuisible qu'avantageuse, et qu'il ne pouvait en résulter aucune augmentation de produit. Cette hauteur, qu'on doit regarder comme une espèce de limite, est adoptée dans ce pays pour tous les grands hauts fourneaux, quelle que soit la quantité de fonte qu'on cherche à obtenir ; on la conserve même pour des hauts fourneaux de dimensions extraordinaires, donnant par jour jusqu'à 18000^{k} de fonte. Le T.

ture du charbon, pour obtenir le maximum d'effet; mais il faut avoir égard aussi à la largeur du foyer: lancé dans un vaste espace, le vent se dilate promptement; il faut que, dans ce cas, il reçoive une forte pression. Voilà ce qui prouve évidement la défectuosité des larges foyers; car la masse du combustible n'y brûle jamais avec la rapidité convenable; une partie est exposée à un vent trop rapide et une autre à un vent qui n'a pas assez de vitesse.

On voit d'après ce que nous venons de dire, qu'il est essentiel de rétrécir le foyer du fourneau, autant que la qualité des matériaux employés à sa construction peut le permettre *. Lorsqu'il commence à s'élargir, il faut donner le vent par deux côtés opposés; c'est l'unique moyen de brûler les charbons avec une vitesse à peu près uniforme. Quand on ne souffle qu'avec une seule buse, on est obligé quelquefois d'en diminuer l'orifice, pour renforcer la pression du vent; mais il en résulte un grave inconvénient, si l'on emploie des charbons légers. Il en serait de même si, en brûlant du coke compacte, on voulait augmenter seulement la masse d'air par un plus grand élargissement de la buse. Dans le premier cas, une partie du charbon se consommerait trop vite et sans produire assez d'effet; dans le deuxième, la température ne serait pas augmentée, les charges descendraient seulement avec une plus grande rapidité.

---

* Lorsque les creusets sont très-étroits, la production journalière est toujours très-faible, et ces creusets se détruisent promptement quelque bons que soient les matériaux employés. D'un autre côté des creusets très-resserrés ne sont pas toujours nécessaires quand on veut obtenir de la fonte de forge; ils ne le deviennent que pour la production de la fonte grise qu'on veut refondre. Cependant il existe une certaine limite qu'on ne peut dépasser sans augmenter d'une manière sensible la consommation de combustible: nous reviendrons sur cet objet. Le T.

775. On peut admettre en général (699) que les colonnes de mercure faisant équilibre aux pressions qu'on doit donner à l'air, pour brûler les différentes espèces de charbons avec les vitesses convenables, doivent avoir les hauteurs suivantes :

Espèce de charbons.	Hauteur des colonnes de mercure.
Charbon très-léger provenant de sapin.	2 à 3$^{cent.}$
Charbon de sapin de bonne qualité.	3 à 4
Charbon de pin silvestre et de bois dur. . . .	4 à 6
Coke tendre et facilement inflammable. . . .	8 à 13
Coke dur et compacte	13 à 19

776. Plus la machine soufflante peut fournir d'air sous la pression voulue, plus on brûle de charbon et plus on obtient de fer dans un temps donné. Il est évident d'ailleurs que la chaleur doit augmenter, si l'on brûle à la fois plus de charbon avec la rapidité convenable ; c'est ce qui prouve l'avantage de donner beaucoup d'air aux fourneaux qui ont une grande élévation. Il n'en est pas tout-à-fait ainsi pour les petits fourneaux, puisqu'une grande partie de la chaleur s'échappe par le gueulard, et que les minérais entrent trop rapidement en fusion.

777. Un fourneau qui est plus haut, qui reçoit une plus grande quantité d'air qu'un autre, doit avoir aussi plus de largeur au foyer. Ce qu'on perd d'un côté par un manque de concentration, on le gagne de l'autre par une plus grande quantité de calorique dégagée ; c'est pour cette raison qu'on parvient à élever le degré de chaleur dans un foyer qui s'est élargi, en augmentant aussi la bouche de la buse.

Un fourneau alimenté avec du charbon de bois, et dont la hauteur est de 13^{m}, donnera plus de fonte et dépensera moins de combustible, s'il reçoit 62^{mcub} d'air

par minute, que s'il n'en recevait que 25^{mcub}; nous supposons d'ailleurs que le vent soit animé de la même vitesse.

Les hauts fourneaux activés au coke ne devraient jamais recevoir au-dessous de 62 mètres cubes d'air par minute *. Des hauts fourneaux à charbon de bois auxquels on voudrait donner une si grande quantité de vent, devraient avoir au moins 14 mètres d'élévation et une largeur proportionnée. Ceux qui ont seulement 11 à 12 mètres de hauteur, n'exigent pas au-delà de 38 à 40 mètres cubes d'air. Ceux qui n'ont que 9^{m} à $9^{m},50$ de hauteur peuvent être activés avec 25 à 28 mètres cubes par minute, ceux qui ont 8 mètres, avec 18 à 20. Enfin ceux dont la hauteur est encore plus faible n'en demandent souvent que dix à douze mètres cubes par minute; mais, si l'on pouvait disposer d'un vent plus fort, il faudrait augmenter la hauteur de ces derniers fourneaux.

778. Pour ce qui est de la largeur du ventre, on sait, qu'en général la chaleur est plus intense dans les foyers qui sont resserrés. Par conséquent, moins ils s'élargissent depuis le point où s'effectue la fusion, plus la chaleur sera élevée dans la cuve. Il s'ensuit que pour des charbons légers, des minérais réfractaires, des soufflets qui donnent peu de vent, le ventre doit être moins large qu'il ne le serait si les soufflets étaient puissans, les charbons compactes et les minérais fusibles.

* Cette quantité de vent est regardée par M. Karsten comme un minimum. La machine soufflante dn fourneau à coke de 15 mètres de hauteur et de 4^{mc} à $4^{mc},30$ de largeur au ventre doit donner de 85^{mcub} à 90^{mcub} d'air par minute, et il faut qu'elle puisse en fournir au moins un dixième en sus pendant la chaleur de l'été. Nous supposons toutefois que ce volume d'air soit calculé d'après la capacité du cylindre multipliée par le nombre des coups de piston; c'est ainsi qu'on est obligé de procéder quand on construit; mais le fourneau en recevra réellement un tiers en moins. Le T.

Arrivées dans la partie du fourneau la plus large, les matières s'étendent et se préparent, les unes à la combustion, les autres à la fusion. Le ventre augmente la chaleur de la cuve, empêche la compression des matières, facilite le passage au vent et diminue l'effet d'une disproportion accidentelle de minérai et de charbon. Un fourneau large peut recevoir en général une plus grande quantité de calorique qu'un fourneau étroit, et il peut en céder une plus grande partie sans être dérangé. Dans les cuves trop étroites, les minérais arrivent trop vite à une haute température; fusibles, ils se liquéfient trop rapidement et donnent de la fonte blanche; réfractaires, ils ne sont pas assez préparés et descendent en morceaux dans le creuset. Ce qu'on dit des minérais s'applique en quelque façon aux cokes qui, lorsqu'ils sont compactes, ne séjournent pas assez long-temps dans un ventre trop étroit, et ne sont pas suffisamment préparés à la combustion. Mais, si le ventre avait un excès de largeur, les minérais pourraient se faire un passage à travers les charbons et se présenter en masses solides devant la tuyère. Les dimensions du ventre dépendent donc à la fois de la compacité du combustible, de la fusibilité des minérais et de la force de la machine soufflante.

779. Puisque les cuves larges sont susceptibles de recevoir une plus grande quantité de calorique que celles qui sont étroites, on pourrait croire que les premières doivent convenir sur-tout aux minérais réfractaires, aux charbons légers et à de faibles machines soufflantes; afin que ces minérais puissent séjourner plus long-temps dans de larges ventres plus échauffés que des ventres étroits, ce qui est contraire aux principes que nous avons établis dans le paragraphe précédent. Mais cette contradiction disparaît, lorsque l'on considère qu'une grande largeur serait su-

perflue, si la machine soufflante était trop faible; parce que les charbons brûleraient avec trop de lenteur et ne dégageraient pas assez de chaleur pour échauffer cette partie de la cuve: un excès de largeur serait donc plutôt nuisible qu'utile. Il s'ensuit que des minérais réfractaires resteraient trop froids dans un ventre qui aurait une grande largeur, tandis que des minérais fusibles traités dans un cuve étroite entreraient trop tôt en fusion et traverseraient les couches de charbon.

780. Si la vitesse du vent est proportionnée à la compacité du charbon, la hauteur et la largeur du fourneau paraissent déterminées principalement par la quantité de combustible qu'on peut brûler à la fois; tandis que la nature du minérai ne semble influer qu'indirectement sur cette détermination. Plus on consume de charbon dans un temps déterminé, plus on doit donner de hauteur au fourneau, afin d'employer toute la chaleur dégagée. Il en résulterait qu'un fourneau alimenté avec le charbon le plus léger, pourrait recevoir les mêmes dimensions qu'un fourneau chargé avec le coke le plus compacte, pourvu que les poids des combustibles consommés de part et d'autre, dans des temps égaux, fussent les mêmes, si la faible pesanteur spécifique et la friabilité du charbon tendre n'occasionnaient pas une compression trop considérable, et ne produisaient pas un obstacle purement mécanique *.

* Lors même que cet obstacle n'existerait point, on ne pourrait donner aux deux fourneaux dont il s'agit des hauteurs égales; car celui qui est alimenté avec du charbon léger n'acquerrait jamais un si haut degré de chaleur que l'autre, parce qu'à masses égales, le charbon de bois occuperait plus de volume que le coke; la quantité de calorique dégagée par le premier, serait donc répandue dans un espace plus vaste et les charges seraient d'ailleurs plus fréquentes, ce qui est une cause de refroidissement. Le fourneau à charbon de bois resterait par conséquent plus

Quoi qu'il en soit, il est certain que les fourneaux ont reçu jusqu'à présent très-peu de hauteur, parce que, vu la faiblesse des machines soufflantes, il eût été préjudiciable de leur en donner davantage. On a été obligé ensuite de les rétrécir, à mesure que les minérais devenaient plus réfractaires, quoiqu'on eût mieux fait d'augmenter le vent ainsi que la hauteur des cuves, et d'employer pour la construction des ouvrages, des matériaux plus réfractaires; mais, dans un grand nombre d'établissemens, on se voit forcé d'adopter les petits fourneaux par l'impossibilité d'augmenter convenablement la force motrice.

781. Si la machine soufflante a peu de force, il faut donner au fourneau d'autant moins de hauteur que le charbon est plus compacte; puisqu'on est obligé de proportionner la vitesse du vent à la densité du combustible, et de diminuer par conséquent le volume d'air lancé dans le fourneau.

782. Bien que les dimensions des hauts fourneaux paraissent dépendre principalement du volume d'air fourni sous la pression convenable, on est pourtant obligé de consulter la nature des minérais et la qualité des charbons sur *le rapport* qui doit exister entre la largeur et la hauteur du fourneau. Sa partie supérieure acquiert d'autant moins de chaleur que la cuve est plus large. Des charbons légers qui développent peu de calorique et des minérais réfractaires, exigent donc des cuves plus étroites que celles

---

froid dans sa partie supérieure que le fourneau à coke. Le maximum de hauteur trouvée pour celui-ci ne pourrait donc convenir pour le premier. Quant à la largeur, elle dépend en grande partie de la vitesse du vent qui doit être beaucoup plus grande pour le coke que pour le charbon léger (774). Voyez au reste le paragraphe 782. Le T.

qui sont alimentées par des charbons forts et des minérais fusibles: on suppose d'ailleurs que la hauteur est aussi grande qu'elle peut l'être, eu égard à la quantité de vent donnée par les machines soufflantes.

Il existe encore une raison déduite d'un effet purement mécanique, qui oblige de donner au vide intérieur des fourneaux à charbon de bois, une largeur moins grande qu'aux cuves des fourneaux à coke : c'est que les charbons légers sont déplacés facilement par le vent, de sorte qu'une partie pressée contre les parois opposées à la tuyère, brûle alors sans développer beaucoup de chaleur. Cet inconvénient se fait d'autant moins sentir avec les cokes, qu'ils sont plus pesans et plus compactes. En se servant de charbons légers, il vaut donc mieux augmenter la hauteur que la largeur de la cuve.

783. Si les minérais sont réfractaires et que les charbons soient légers, on rapproche quelquefois le ventre très-près du point où doit s'opérer la fusion; les étalages reçoivent alors une pente très-douce. Le but de ce gnere de construetion en usage dans les montagnes du Harz, est de mieux soutenir les matières, de retarder leur descente dans le foyer et surtout de racourcir la distance qui sépare le ventre du foyer, afin que les charbons ne puissent pas trop se consumer dans les régions supérieures du fourneau; mais on remplirait bien mieux cet objet en élevant le point où s'effectue la fusion, surtout parce que les minérais, lorsqu'ils sont à moitié fondus, s'attachent quelquefois à ces sortes d'étalages, dérangent la régularité des descentes et tombent ensuite par masses dans le creuset. On ne pourrait adopter une semblable forme de haut fourneau pour des minérais fusibles et pour des charbons durs, tels que des cokes qui demandent un vent très-fort, parce qu'il se formerait à chaque instant des masses

agglutinées et figées contre les parois. Si au contraire la pente des étalages est trop rapide, le vent se trouve refoulé dans l'ouvrage par les matières, qui n'ayant pas un appui suffisant, glissent sur un plan très-incliné, se resserrent et ferment le passage à l'air. D'après les expériences qu'on a faites en Silésie, il paraîtrait qu'un angle de 60 à 65 degrés avec l'horizon, présente l'inclinaison la plus convenable.

On donnerait aux étalages une pente encore plus rapide, un angle de 65 à 70 degrés, si l'on ne traitait que des carbonates de fer argileux, et si la majeure partie de la charge ne se composait point de fers bruns terreux susceptibles de se serrer fortement *.

784. Les étalages doivent être plus longs dans les fourneaux larges, alimentés avec des minérais fusibles et des charbons pesans, qu'ils ne le seraient dans les fourneaux plus étroits, chargés avec un minérai réfractaire et un combustible léger. Rigoureusement parlant, il ne devrait pas y avoir de différence entre les inclinaisons des étalages, si le vent était doué d'une vitesse convenable, eu égard au combustible.

On donne très-souvent aux petits fourneaux alimentés avec des charbons légers et animés d'un faible degré de chaleur, des étalages d'une pente très-douce; mais on

* En Angleterre, où l'on traite presque toujours du carbonate argileux, les étalages reçoivent ordinairement 57 à 58 degrés; et ils sont inclinés sous un angle beaucoup plus petit dans les hauts fourneaux des plus grandes dimensions qu'on voit dans le pays de Galles.

Ayant dû traiter à Lavoulte un oxide rouge d'une grande richesse, mais difficile à fondre et sujet à se comprimer, je n'ai donné que 54 à 55 degrés aux étalages de trois hauts fourneaux et 57 au quatrième. Ces hauts fourneaux ont marché parfaitement, et ont produit chacun 6 à 7 mille kilog. de fonte par jour. Le T.

ferait mieux d'augmenter la hauteur du fourneau et de rétrécir le ventre. Si par la nature du combustible il est nécessaire que le vent soit très-fort, les étalages doivent faire au moins un angle de 60 degrés avec l'horizon. Quant aux fourneaux à coke, on ne doit pas dépasser la limite de 66 degrés, à moins que les matières peu disposées à se comprimer ne laissent beaucoup de passage au vent. Si l'on dispose de charbons friables et légers, il faut donner aux étalages une pente plus douce, attendu que le vent, qui doit avoir peu de vitesse, ne saurait pénétrer à travers des matières très-resserrées. On pourrait alors les incliner à 55 degrés*.

785. Il est essentiel que les étalages viennent se rattacher aux parois par une ligne courbe, afin que les charges ne soient pas arrêtées ni comprimées brusquement dans leur descente. En général, la cuve doit s'élargir insensiblement depuis le gueulard jusqu'au ventre, et se rétrécir ensuite de la même manière jusqu'à l'ouvrage, sans présenter aucun angle vif. L'endroit où finit le ventre doit être imperceptible; sa plus grande largeur est donc un peu au-dessus des étalages. Les rétrécissemens et les élargissemens subits occasionnent toujours des irrégularités dans l'allure du fourneau. Les étalages doivent se raccorder aussi d'une manière insensible avec les pierres de l'ouvrage terminé en dessus par un quadrilatère.

786. *Le gueulard* reçoit une largeur plus ou moins grande. En le rétrécissant, on concentre la chaleur dans l'intérieur de la cuve, mais on comprime les matières davantage. On ne doit donc le rétrécir que dans le cas où le vent est fort, que le charbon est léger et que le minérai

* Voyez la note du paragraphe précédent. Le T.

n'est pas susceptible de se comprimer fortement. Il faut le rendre très-large quand on dispose d'un minérai ocreux, de menus charbons et d'une faible machine soufflante. On ne doit jamais lui donner la forme d'un entonnoir renversé, en l'élargissant subitement vers le bas; parce que les matières, dont la descente serait d'abord trop rapide, se répartiraient alors inégalement : le minérai plus pesant que le combustible déplacerait ce dernier et commencerait à le traverser, même dans la partie supérieure de la cuve.

Un fourneau de 12^{m},55 de hauteur et de 3^{m},50 à 4^{m} de largeur au ventre, pourra n'avoir que 50 cent. de diamètre au gueulard, si le minérai qu'on y traite ne se comprime pas fortement; dans le cas contraire, lorsque le minérai est terreux et qu'il ferme le passage à l'air, on donne au gueulard une largeur de 90 à 140 centim *.

787. Les dimensions *de l'ouvrage* dépendent de celles du fourneau; un ouvrage qui serait trop haut présenterait beaucoup d'inconvéniens. Cependant, il est certain que ceux qui ont 1^{m},25 à 1^{m},50 sont trop bas pour des fourneaux de 11 à 12 mètres d'élévation, et dans lesquels on veut obtenir de la fonte grise, pour le moulage.

---

* Lorsque le fourneau est très-haut, on ne doit pas craindre de lui donner un large gueulard; il ne peut en résulter une forte perte de chaleur. D'un autre côté, cette largeur exerce une grande influence sur la production journalière. On augmenterait vainement les autres dimensions du fourneau et la quantité d'air donnée par minute; on obtiendrait peu de fonte, si le gueulard était trop étroit. Ceux des hauts fourneaux à coke qui ont à peu près 15 mètres de hauteur, devraient recevoir un gueulard dont le diamètre eût au moins $\frac{2}{5}$ et quelquefois la moitié même de celui du ventre. J'ai vu mainte fois, qu'en péchant contre cette règle, on n'obtenait que de faibles produits, malgré les efforts qu'on faisait du reste pour les accroître. Le T.

En les élevant davantage, on obtiendrait un produit plus uniforme et l'on consommerait moins de charbon. Des minérais réfractaires, de faibles machines soufflantes et des charbons légers exigent des ouvrages étroits et élevés; mais leur hauteur et leur rétrécissement sont presque toujours limités par la qualité des matériaux employés à leur construction: lorsqu'ils sont étroits et hauts, on peut à peine obtenir une fonte blanche autre que celle qui est due à une surcharge de minérais, parce que la chaleur y est toujours assez intense, pour opérer le changement de la fonte blanche en fonte grise; enfin dans les ouvrages étroits, les charbons ne sont pas déplacés par l'action du courant d'air, et les minérais ne descendent pas en morceaux devant la tuyère.

788. Les ouvrages bas et larges ne peuvent être donnés qu'aux fourneaux que l'on charge en minérais purs et fusibles, parce qu'on cherche alors à obtenir de la fonte blanche. Ce serait certainement une amélioration essentielle pour les flussofen, que d'y construire un ouvrage, n'eût-il que 3 p. de hauteur sur 18 pouces de largeur; le travail qui pourrait encore avoir lieu à poitrine close présenterait un avantage incontestable.

Les fourneaux avec lesquels on veut produire de la fonte grise pour une raison quelconque, ainsi que tous les hauts fourneaux à coke, doivent avoir des ouvrages hauts et resserrés. Ces ouvrages ne devraient pas avoir au-dessous de $1^m,88$ (6 p. du Rhin) d'élévation, et plus de 48 centim. (18 pouces du Rhin) de largeur à la tuyère. Pour les fourneaux à coke, on est obligé de dépasser la dernière de ces limites, parce qu'on ne pourrait se procurer des matières assez réfractaires pour supporter le haut degré de chaleur que produit la rapidité du courant d'air. Les ouvrages de ces fourneaux reçoivent 58 à 63 centim. de largeur à la tuyère;

mais on tâche de remédier à l'inconvénient qui résulte d'une si grande largeur, en augmentant leur hauteur qui peut varier entre $1^m,88$ et $2^m,20$ *.

789. On évase l'ouvrage vers le haut, pour faciliter la descente des charges et pour empêcher que les étalages ne soient pas trop fortement endommagés. La largeur dans la partie supérieure est ordinairement d'un tiers plus grande que celle qui est prise à la hauteur de la tuyère; si l'une est de 60 centim., l'autre n'en aura que 40. Ce retrait serait trop fort pour les ouvrages qui n'auraient pas $1^m,88$ de hauteur, parce qu'il occasionnerait, sur les couches inférieures des matières, une si forte pression que le vent ne pourrait plus les traverser. Il suit de là que dans les fourneaux très-hauts, les parois des ouvrages ne sont pas aussi fortement inclinées que dans les petits **.

---

* Ce que nous avons dit du gueulard s'applique en quelque façon à l'ouvrage. Lorsque ce dernier est très-rétréci, on pourra travailler avantageusement sous le rapport de la consommation des matières, mais la production sera faible. Or, dans les grandes entreprises, où il s'agit de couvrir des frais immenses, où la perte de temps conduirait à une ruine certaine, dans ces entreprises dis-je, on est quelquefois dans le cas de faire un léger sacrifice sur les matières premières mêmes, pour obtenir dans un temps donné, et avec les appareils dont on dispose, une grande quantité de fer cru. Si le fourneau devant produire de la fonte de forge, est activé au coke, on peut sans inconvénient donner à l'ouvrage une largeur de $0^m,75$ à $0^m,80$: supposé toutefois que la machine soufflante ait assez de force et qu'on ait pris du reste les dispositions voulues. Le T.

** L'évasement dépend aussi de la largeur de l'ouvrage. S'il était large et fortement évasé, on aurait à craindre que les matières en se comprimant ne fermassent le passage à l'air. S'il est étroit, on doit hâter au contraire la descente des charges, en donnant aux parois un retrait plus considérable. Dans le Straffordshire, où les ouvrages n'ont près de la tuyère que $0^{me},60$ à $0^{me},75$ de largeur, on leur donne ordinairement de chaque côté un retrait de $\frac{1}{12}$ et souvent même de $\frac{1}{9}$. Dans la Glamorgam il existe beaucoup de hauts fourneaux dont les ouvrages sont d'une largeur de

790. L'écartement des deux costières s'appelle *largeur*, et la distance de la tympe à la rustine est la *longueur* de l'ouvrage. La dernière est ordinairement un peu plus grande que la première. Le but de cette disposition est de ménager la tympe exposée continuellement aux variations de température; mais cette différence de la longueur à la largeur de l'ouvrage produit aussi une différence dans l'inclinaison des étalages, dont la pente devient plus rapide du côté de la rustine et de celui du travail que des deux autres côtés, si les quatre faces sont terminées à la même hauteur: quoi qu'on fasse, il en résulte toujours des irrégularités plus ou moins fortes dans la descente des charges.

Si la différence de la longueur à la largeur de l'ouvrage est très-sensible, elle devient préjudiciable à l'allure du fourneau; si elle est petite, on peut la tolérer pour ménager la tympe. En général on devrait toujours rendre carré le plan supérieur de l'ouvrage. On pourrait donc reculer la tympe d'une quantité égale à son retrait, la tailler d'aplomb et donner ensuite aux pierres qu'elle supporte, le retrait qu'elles doivent avoir. L'axe de l'ouvrage correspondrait de cette manière à l'axe de la cuve, et l'on atteindrait le but proposé, celui de ménager la tympe en lui laissant la plus grande épaisseur possible. La ligne ponctuée *pq* (Fig 1) indique le retrait que le pierre aurait dû recevoir, si, pour l'éloigner davantage du centre de la cuve, on ne l'avait pas taillée verticalement.

$1^{me},10$ et même au-dessus, et qui ne reçoivent de chaque côté que $\frac{1}{24}$ de retrait sur la totalité de leur hauteur. Enfin la nature de la fonte dont on a besoin, doit entrer aussi en considération. Si l'on se propose d'obtenir de la fonte très-grise qu'on veuille refondre pour la fabrication d'objets moulés, on doit donner aux parois de l'ouvrage moins de retrait qu'on n'en donnerait, si la fonte était destinée pour l'affinage; dans ce dernier cas, on pourrait fixer ce retrait à $\frac{1}{10}$ de chaque côté, lors même que l'ouvrage aurait 70 à 80 centimètres de largeur sur 2 mètres de hauteur. Le T.

791. Le fourneau reçoit le vent par la *tuyère* qui est en argile, en fer ou en cuivre. Les tuyères d'argile sont les plus imparfaites. On ne s'en sert que pour de petits fourneaux et des minérais fusibles, parce qu'elles ne permettent pas de régulariser le jet d'air. Les tuyères en fer sont défectueuses aussi, puisqu'on ne peut ni les élargir ni les rétrécir; il faut donc leur préférer les tuyères en cuivre dont l'ouverture peut être agrandie ou diminuée à volonté *.

On distingue dans la tuyère trois parties principales: le *plat*, le *pavillon* et le *museau*. Le plat est la partie plane sur laquelle la tuyère est placée; le pavillon est l'ouverture la plus large; le museau est la partie antérieure qui avance dans le fourneau et qui reçoit une épaisseur de 6 à 8 millimètres, afin de pouvoir mieux résister à l'action de la chaleur. L'ouverture du museau s'appelle *œil* ou *bouche*. On a souvent varié la forme de cet orifice, en y mettant beaucoup de mystère; on l'a rendu rond, carré, demi-rond et l'on attribuait à ces figures diverses le succès du fondage. Il est évident que la bouche doit être semblable à l'ouverture de la buse; lorsqu'on se sert de plusieurs buses, sa forme est indifférente, pourvu qu'elle ne fasse pas refluer en arrière une trop grande quantité de vent.

* Il existe des tuyères en fer qui présentent le même avantage, elles se composent de 4 plaques, dont les deux qui sont verticales, peuvent être rapprochées ou écartées; ces tuyères sont donc susceptibles d'être rétrécies ou augmentées en largeur. Le bas prix des tuyères de fer, employées exclusivement dans toute l'Angleterre, permet d'ailleurs d'en avoir un assortiment de plusieurs grandeurs. Il se présente souvent des cas (lorsque le fourneau est dérangé) où l'on est obligé d'employer des tuyères tellement larges qu'on ne pourrait élargir suffisamment celles dont on fait ordinairement usage; on les coule alors en fonte et à double enveloppe, afin d'y faire circuler un courant d'eau. Le T.

Si la tuyère est très-large, son museau, ne se trouvant pas suffisamment rafraîchi par le vent, finit par entrer en fusion, sur-tout lorsque les matières descendent sans être entièrement liquéfiées; le vent perd d'ailleurs une partie de sa pression et la fonte devient blanche, quelque légers et quelque peu colorés que soient les laitiers (760). Dans ce cas, il suffit de rétrécir cet orifice pour obtenir de la fonte grise.

Une tuyère qui est trop étroite devient froide, les matières s'y figent et peuvent produire un nez sans aucune autre cause, la vitesse des descentes est diminuée, et l'on perd une grande quantité de vent. Il faut donc que l'ouverture de ce tuyau soit un peu plus petite que l'œil de la busc, si les soufflets domment peu de vent, et qu'elle soit plus large, si la machine soufflante fournit un volume d'air considérable.

792. La distance de la sole à la tuyère dépend de la hauteur de l'ouvrage: dans les fourneaux à coke où il règne une très-forte chaleur, les tuyères sont placées à une hauteur de 58 à 60 centim. au-dessus du fond.

Dans les fourneaux à charbon de bois, lorsqu'ils ont une grande élévation, la tuyère est à 48 centim. du fond. Enfin dans ceux dont l'ouvrage est très-bas, la tuyère ne se trouve qu'à une hauteur de 30 à 36 centim. au-dessus du fond de la cuve. Les creusets ne peuvent alors contenir qu'une très-petite quantité de fer.

En général, dans tous ces foyers, la tuyère peut être placée de 10 à 13 centim. plus bas que dans les fourneaux à coke; parce que la vitesse du vent et la pression exercée par la colonne des matières y sont moins grandes que dans ces derniers; parce que la fonte liquide n'est pas poussée avec autant de force dans l'avant-creuset, et que le bain n'est pas dépouillé si facilement de la couche de scories

qui le recouvre; en un mot, parce que le vent n'est pas si fortement comprimé dans l'ouvrage.

Lorsque la pierre de fond n'est pas refroidie par l'humidité du terrain, la tuyère doit toujours être placée à une hauteur de 42 centim., afin que le creuset puisse contenir une assez grande quantité de matières; la fonte devient alors plus chaude et plus liquide. Si le vent est donné à une trop faible hauteur, il fait bouillonner les scories, lors même que le fourneau est en bonne allure.

793. On ne peut rien affirmer de positif sur le diamètre que doit avoir l'œil de la buse, parce qu'il dépend entièrement et de la pression de l'air déterminée par la nature du combustible, et de l'effet produit par la machine soufflante; plus cet effet est fort, plus on peut élargir la buse et augmenter le volume d'air lancé dans le fourneau. Elle n'est trop large, qu'autant qu'elle se trouve disproportionnée à la force des soufflets. Elle est trop étroite, si la pression de l'air est telle que le charbon brûle avec une trop grande rapidité. Les charges descendent alors très-vite; mais il en résulte aussi une plus forte consommation de combustible, et la fonte pourrait devenir blanche, lors même que le point où s'opère la fusion serait très-élevé. Dans le premier cas, on doit diminuer les bouches des buses, ce qui diminue aussi le nombre des charges pour un temps donné; mais la réduction devient moins incomplète et il en résulte une économie en charbon; dans le deuxième, on les élargit pour donner au fourneau une plus grande masse d'air dont la densité soit proportionnée à celle du combustible.

Plus on élargit les buses, plus on augmente aussi la production journalière; et comme le degré de chaleur s'accroît par la combustion d'une plus grande quantité de charbon, l'avantage qui résulte des fortes machines souf-

flantes est évident, si toutefois le fourneau a les dimensions convenables.

794. Il paraîtrait au premier abord que la direction de la tuyère devrait correspondre à l'axe de la cuve; afin que l'air pût se répandre uniformément dans tout l'ouvrage, d'autant plus que la tympe étant déjà reculée (790) semble moins exposée que la rustine; mais il en est autrement : le vent qui se cherche toujours un passage à l'endroit de la moindre résistance, se porte avec le plus d'activité vers la partie antérieure. C'est pour cette raison que l'on rapproche la tuyère de 3 à 5 centim. de la rustine; souvent même on la tourne de ce côté en la faisant dévier de sa direction de 5 à 8 degrés, afin que l'air se répartisse dans l'ouvrage d'une manière uniforme. Mais il ne faut pas que ces mesures de précaution soient poussées trop loin, parce que la fusion du minérai deviendrait incomplète dans l'avant foyer. On devrait même ne changer la direction de la tuyère que dans les cas pressans : lorsqu'une grande partie de la tympe aurait été mise en fusion.

Quelques maîtres fondeurs s'imaginent que le succès de leur travail dépend de l'inclinaison donnée à la tuyère : ils feraient mieux de la placer horizontalement. Dirigée vers le haut, elle porte la chaleur dans la partie supérieure de la cuve, ce qui augmente la vitesse de la descente des charges; mais la marche du fourneau se dérange, le produit du minérai diminue et la consommation de charbon devient plus considérable, parce que le vent ne peut traverser convenablement l'épaisseur de la colonne des matières : la chaleur est alors trop faible du côté du contre-vent, ce qui peut occasionner des descentes obliques et des éboulemens. Si l'on incline la tuyère vers le bas, on perd une grande partie du vent, on renforce la pression exercée

sur le bain, on refroidit le laitier, on produit un engorgement du creuset et l'on augmente le balancement des matières qu'il contient. Quelquefois on fait plonger la tuyère pour blanchir la fonte : il en sera question plus tard.

795. Il serait inutile d'employer plusieurs tuyères, si l'ouvrage n'avait qu'une faible largeur, égale à peu près à 31 centim. Mais la fusibilité des matériaux qui servent à la construction, ne permet pas qu'on adopte une forme si resserrée : il faut donc donner le vent par deux tuyères opposées ; afin qu'on ne soit pas obligé d'augmenter outre mesure la pression de l'air, pour brûler avec une rapidité convenable les charbons qui sont près du contrevent. On aurait tort de placer deux tuyères de front ; la pierre de tuyère se trouverait d'ailleurs trop affaiblie par une semblable disposition *.

En Angleterre, on emploie souvent trois tuyères : une est placée du côté de la rustine et les deux autres le sont sur les deux costières. Il ne peut manquer d'en résulter un avantage, si le foyer a de grandes dimensions, et si les soufflets fournissent une très-grande masse d'air. Il est bien entendu que le vent doit toujours conserver la pression exigée par la densité du combustible, soit qu'on fasse usage d'une seule tuyère, soit qu'on en ait deux. Mais il vaut bien mieux employer deux buses placées dans deux tuyères opposées, que d'en avoir une seule dont l'orifice soit égal à la somme des deux, quoiqu'on perde toujours un peu de vent par l'emploi de plusieurs buses.

* Lorsqu'on donne le vent par deux tuyères opposées, il est essentiel que leurs axes ne soient point placés sur la même ligne : dans le cas contraire, les deux courants d'air se choqueraient et l'effet des machines soufflantes en serait diminué. Le T.

796. Si par suite du travail, l'ouvrage s'élargit fortement, la tuyère peut se fondre: on est alors obligé de l'enlever et de la placer un peu en arrière. Il est évident que cette opération est très-nuisible au fondage; on ne doit donc s'y décider que dans le cas où elle devient indispensable. Lorsqu'on est obligé de changer la tuyère pour défaut de dimensions, on ne doit pas reculer la nouvelle tuyère; si l'on ne peut l'avancer davantage, il faut du moins lui conserver l'ancienne position *.

On enveloppe la tuyère avec une couche d'argile et l'on tâche, en la rafraîchissant le plus possible, de la couvrir d'un peu de fonte, qui s'affine et qui la protége contre l'action de la chaleur; mais on ne réussit pas toujours à lui donner cette enveloppe de fer demi-affiné, et c'est une raison de ne procéder à un changement que lorsqu'on ne peut l'éviter.

Si l'ouvrage s'est déjà élargi, il faut que la bouche de la tuyère soit rigoureusement égale à l'orifice de la buse, quelle que soit du reste la force du vent, afin que le cuivre soit suffisamment rafraîchi et qu'il ne puisse être attaqué par la chaleur.

La buse est placée à 7 ou 8 centimètres de l'extrémité de la tuyère; il faut l'avancer, si le vent n'a qu'une faible vitesse, afin qu'il soit mieux contenu. Dans les usines où l'on fait usage de deux buses disposées dans une seule tuyère, les maîtres fondeurs prétendent souvent que la réduction du minérai et l'allure du fourneau, dépendent

---

* Rien n'empêche qu'on fasse avancer les tuyères dans l'intérieur du foyer, lorsqu'il s'est trop élargi, et il faut toujours le faire; mais on est forcé d'employer pour cet effet des tuyères à double enveloppe et dans lesquelles on fait circuler un courant d'eau. (Voyez notre note du paragraphe 791.) Ces tuyères qui avancent dans l'ouvrage se couvrent de fonte affinée et de matières durcies, le foyer se resserre et le fourneau peut encore être maintenu long-temps en activité. Le T.

particulièrement de la direction qu'il faut donner à ces conduits. Le point essentiel est de les diriger de manière qu'on perde le moins de vent possible.

797. La pierre de fond est composée quelquefois de plusieurs pièces, qui doivent être si bien assemblées que les joints soient à peine visibles; mais il vaut mieux que la sole soit confectionnée en terre réfractaire battue en pisé (753): il faut, en tout cas, qu'elle soit horisontale. Si elle était légèrement inclinée vers la *dame*, la fonte s'écoulerait avec plus de facilité; mais l'avant-creuset deviendrait trop froid après la coulée. Une pente vers la rustine est nuisible, parce qu'on est souvent obligé de nettoyer le creuset entièrement, afin que la fonte restée sur la sole ne puisse pas s'y figer, ni refroidir les matières liquides qui viennent y tomber.

Il n'existe pas dans l'ouvrage une pierre qui n'ait déjà reçu une position particulière. Ces constructions irrégulières se sont perpétuées dans les établissemens, sans avoir été soumises à un examen raisonné. Souvent elles n'ont d'autre but que de cacher l'ignorance des maîtres fondeurs.

798. En Suède, les creusets sont plus larges vers la rustine que vers la tympe, la différence est de 3 à 5 centim.; en Russie, on leur donne une forme opposée. Ces irrégularités, sans objet d'ailleurs, sont préjudiciables en ce que le vent pénètre difficilement dans les coins les plus éloignés et que les diverses faces de l'ouvrage sont alors différemment inclinées par rapport à la tuyère.

Dans certains pays, on rend la rustine et le contrevent plus longs que le côté de la tympe et celui de la tuyère. Souvent aussi, la pierre de tuyère s'avance dans l'intérieur du foyer, ce qui rend la pente des étalages

correspondant au contre-vent beaucoup plus rapide que l'autre: il ne peut résulter de ces sortes de constructions qu'un succès médiocre, lors même qu'on traite des minérais fusibles. Quelques fondeurs prétendent que la tympe, au lieu d'être parallèle à la rustine, doit se placer de manière que le côté de la coulée en soit éloigné d'un à deux pouces de plus que l'autre; parce que, disent-ils, le vent pénètre alors avec plus de force dans l'angle de la coulée. Mais cette forme ne peut non plus présenter aucun avantage.

799. Il faut éviter en général toutes les formes irrégulières. Il n'existe pas des motifs assez forts pour autoriser de semblables constructions. L'axe de l'ouvrage doit toujours se confondre avec celui de la cuve; il est vicieux de le rapprocher plus d'un côté que de l'autre. L'objet d'un semblable déplacement est de ménager une des faces de l'ouvrage, mais il est rare qu'on atteigne ce but; ces moyens, au contraire, ne manquent jamais de produire un effet nuisible sur l'allure du fourneau. Il en résulte des descentes obliques, des éboulemens, des chutes et une inégale répartition du vent qui se porte principalement du côté où la pente des étalages est le moins rapide.

800. L'élévation de la tympe au-dessus de la sole est sujette à contestation : quelques-uns disposent cette pierre de façon que sa surface inférieure soit de niveau avec la tuyère; d'autres l'élèvent au-dessus de ce point de 3 à 5 centimètres; d'autres l'abaissent de cette quantité, ce qui cependant ne peut avoir lieu que dans le cas où les minérais donneraient un laitier très-liquide qui ne pût obstruer la tuyère. En l'élevant au-dessus du jet d'air, on refroidit l'ouvrage inutilement, et l'on présente trop d'issue au vent. Ce qui me paraît le plus avantageux, c'est de placer la

tympe, dans les cas ordinaires, à la hauteur de la tuyère, et de la descendre un peu pour mieux fermer la poitrine du fourneau, lorsque les minérais sont très-fusibles.

L'épaisseur de la tympe influe sur la longueur du creuset et de l'avant-creuset, ce qui semble indiquer un rapport entre cette épaisseur et les dimensions de l'ouvrage. Mais la grosseur de cette pierre paraît dépendre sur-tout de la température qui doit régner dans le foyer; plus cette température sera élevée, plus on pourra donner d'épaisseur à la tympe, sans craindre de trop diminuer la chaleur de l'avant-creuset et d'y faire figer les matières: on doit la rendre le plus épaisse qu'il est possible, afin d'en retarder la destruction. Quelquefois elle n'a que 52 centim. de grosseur; si l'ouvrage est plus grand, elle en reçoit 70 à 75.

801. La hauteur de la *dame* dépend de la distance de la tuyère à la sole; lorsque cette distance est petite, que les pressions exercées par le vent et la colonne des matières sur la surface du bain, sont faibles et que le laitier n'est pas visqueux, on peut mettre la partie supérieure de la dame de niveau avec la tuyère. Mais si le minérai produit des scories épaisses, disposées à obstruer ce conduit d'air, lorsque le fourneau se dérange, on abaisse la dame de 4 centim.: il est indispensable qu'elle soit plus basse que la tuyère, si le laitier doit s'écouler spontanément*.

On arrondit quelquefois la face intérieure de la dame; mais cette forme gêne lorsqu'on veut nettoyer le creuset, il vaut mieux que la face intérieure *h* (Fig. 1) soit plane. La distance horizontale de la tympe à l'arête supé-

* La dame d'un fourneau à coke est ordinairement de 10 à 12 centim. au-dessous de la surface inférieure de la tympe. Le T.

rieure de la dame, est de 32 à 36 centimètres, si l'ouvrage est grand, et de 22 à 26 centimètres, s'il a de faibles dimensions. Quand on a lieu de craindre que par l'emploi d'un coke impur l'avant-creuset ne se refroidisse, on en diminue la capacité, en prolongeant la face intérieure de la dame, c'est-à-dire, en l'inclinant davantage (Fig. 1): le travail dans l'avant-creuset en devient plus facile et le trou de la coulée se bouche plus solidement.

802. Le côté extérieur de la dame est couvert d'une plaque de fonte légèrement concave sur laquelle s'écoulent les laitiers. Cette plaque se trouve percée du côté de la coulée de quelques trous dans lesquels sont placées des barres de fer, qui retiennent une autre plaque disposée de champ, qu'on appelle ordinairement *Gentilhomme.* C'est entre cette dernière et la joue de l'embrasure qu'on pratique dans le sable une longue rigole destinée à recevoir la fonte liquide qu'on veut couler en gueuse.

Les fourneaux qui ont deux embrasures de coulée et dans lesquels on travaille sur deux côtés opposés, se présentent rarement. Ils donnent lieu à une grande perte de chaleur. On ne doit adopter cette disposition que dans le cas où le fourneau, activé d'ailleurs au coke, soit très-grand, et où l'on puise la fonte avec des cuillers pour la fabrication des objets moulés.

803. En considérant ce qui a été dit jusqu'à présent (709 à 802) sur le hauts fourneaux, on est frappé des grandes différences qu'ils présentent, sous le rapport de leur forme extérieure ou intérieure. Ces différences sont dues soit à la nature des matières premières employées, soit à l'étendue qu'on a donnée à la fabrication du fer dans les différens pays, soit à l'espèce de fonte qu'on cherche à obtenir, soit enfin à des usages reçus qui se

perpétuent sans examen. Dans l'Allemagne méridionale, on emploie des flussofen sans ouvrage; en Suède, des hauts fourneaux sans ouvrage. Dans l'Allemagne septentrionale ainsi qu'en France, les fourneaux sans ouvrage sont extrêmement rares, et il n'en existe probablement aucun en Angleterre.

La forme de la cuve, l'emplacement du ventre, la hauteur du fourneau sont soumises à des variations sans nombre. Ici on ne voudrait pas donner aux fourneaux sans ouvrage plus de six à sept mètres d'élévation, de peur que les produits ne fussent d'une mauvaise qualité; là on leur donne, au contraire, 11 à 12 mètres de hauteur, pour mieux utiliser le combustible; ailleurs on est persuadé qu'une hauteur de 9 à 10 mètres entraînerait déjà des inconvéniens de tous genres.

Les hauts fourneaux avec ouvrage présentent des variations encore plus considérables; parce qu'elles s'étendent aux différentes dimensions de ces derniers ainsi qu'à l'inclinaison des étalages. Quant aux hauts fourneaux activés au coke, on est d'accord du moins sur deux points: 1° qu'ils doivent avoir un ouvrage; 2° qu'ils ne peuvent recevoir moins de $11^{m},50$ de hauteur.

804. Dans le Harz, les hauts fourneaux ont ordinairement des étalages d'une pente très-douce: on en voit un exemple dans la figure 27: je ne puis approuver ce genre de construction, par les raisons précédemment développées. Les parois et l'ouvrage se construisent en pierres de taille réfractaires et sont séparées d'un muraillemeut extérieur par un remplissage de pierres concassées.

Les fig. 1, 2, 3, Pl. V représentent le haut fourneau de Gleiwitz, en Silésie, et qui est activé avec du coke. La plupart des hauts fourneaux à charbon de bois qu'on voit dans cette province ressemblent, sous le rapport de leur

forme intérieure, à celle de ce fourneau à coke, bien qu'ils soient en général plus petits.

Les fourneaux coniques en dehors, se consolident ordinairement par des cercles en fer; ceux, au contraire, qui ont une forme pyramidale, sont traversés par des barres de fer, retenues à leurs extrémités par d'autres barres courbées en *s* ou en *x*, ou mieux encore par des rondelles de fonte. Il n'y a que les hauts fourneaux à coke qui reçoivent des doubles et quelquefois même des triples parois construites en briques réfractaires.

La forme qu'on a donnée jusqu'à présent aux hauts fourneaux à coke ne variait que sous le rapport du plus ou du moins; la différence principale ne consistait que dans l'inclinaison des étalages. Mais depuis quelques années, on s'est laissé guider en Angleterre par des principes tout-à-fait opposés à ceux qu'on avait suivis jusqu'à présent; on a sacrifié l'économie du combustible à l'économie du temps ou bien à l'augmentation des produits. Par suite de ce principe, le gueulard et le ventre ont reçu des formes exorbitantes. Nous allons en citer quelques exemples: aux forges de Plymouth, près de Merthir Tidvil, on a construit, il y a trois ans, un haut fourneau représenté par la Fig. 1 Pl. VI. Le gueulard a trois mètres de diamètre et le ventre a $4^m,50$. Le chargement se fait sur quatre côtés opposés; pour cet effet, on a été obligé d'établir une galerie autour de ce fourneau. La largeur de l'ouvrage au niveau de la tuyère est de $0^m,92$ *.

---

* Nous avons vu le haut fourneau de Plymouth pendant l'été de 1825; il rendait alors 106 tonneaux de fonte par semaine, ou 15,370 kil. par jour, et l'on nous a assuré qu'il donnait un cinquième en sus pendant l'hyver. Il avait les dimensions suivantes:

Le diamètre du ventre était de. . . .		$5^m,48$
Id	du gueulard	$3^m,66$

Les dimensions du fourneau de Plymouth paraîtront encore très-modérées, en comparaison de celles qu'on a données au haut fourneau de Dowlais, près de Merthir Tidvil. Il est construit contre un rocher d'où l'on communique par un pont avec le gueulard. Ce dernier a 5 mètres de diamètre, ce qui est aussi le diamètre du ventre, attendu que toute la cuve est cylindrique. La hauteur totale du fourneau est de 14^{m},63; il produit par jour 15 tonneaux de fonte (15125 kil.). On charge par cinq côtés différens. Ce haut fourneau est remarquable, non seulement par les dimensions de la cuve, mais aussi par le reste de sa construction. Il n'a point de muraillement extérieur, les briques réfractaires qui forment la cuve ont 0^{m},50 de longueur; elles se trouvent consolidées par des cercles en fer de 16 à 17 millimètres d'épaisseur et de 10 centimètres de largeur. Les étalages s'appuient sur deux plaques de fonte C, C, Fig. 2, 4 et 5; la figure 4 indique le plan de ces plaques, la figure 5 est le plan du gueulard avec la projection des plaques. Malgré la légèreté de cette construction et la force du vent, le fourneau n'a présenté aucune rupture.

805. Les hauts fourneaux qui n'ont point de muraille-

Largeur du creuset.	1^{m},50
Hauteur de l'ouvrage.	1^{m},83
Hauteur totale du fourneau.	14^{m},63
Inclinaison des étalages.	45°

La force de la machine soufflante, activée par un cours d'eau, était de 50 chevaux vapeur. La consommation du combustible pour un tonneau de fonte était à peu près un sixième en sus de celle qu'exigeaient d'autres hauts fourneaux moins grands, alimentés avec le même coke et les mêmes minérais. Les hauts fourneaux ordinaires du pays de Galles produisent 8 à 10 mille kilg. de fonte par jour. Le T.

ment extérieur et que nous avons appelés hauts fourneaux cubilots, se répandent de plus en plus en Angleterre; parce qu'on les construit rapidement, et qu'une partie des matériaux employés, c'est-à-dire le fer, conserve sa valeur après leur démolition. Mais il est indubitable que par la suppression de la maçonnerie extérieure on consume une plus grande quantité de combustible. Cette considération est importante, sur-tout lorsque le fourneau doit avoir une longue existence; dans ce cas, il vaut bien mieux le construire d'après l'ancienne méthode.

La planche VII représente un haut fourneau cubilot, situé près de Swansea; il est activé depuis plusieurs années. Le mur réfractaire constituant les parois de la cuve, repose sur des supports *aaa*, couronnés par des plaques *bb* (Fig. 1, 2, 3 et 4). La maçonnerie de briqnes réfractaires est consolidée par des cercles et des barres de fer (Fig. 1 et 5). La Fig. 1 représente l'élévation du fourneau vu par devant; la Fig. 2 une coupe; la Fig. 7 un plan pris à la hauteur AB; la Fig. 8 le plan du gueulard; la Fig. 9 le plan pris à la hauteur des tuyères, mais sans le creuset. Ce fourneau à $14^m,33$ de hauteur y compris la cheminée qui en a 2^m13; la hauteur de la cuve est donc seulement de $12^m,20$: le ventre a $2^m,75$ de diamètre et le gueulard $1^m,20$.

Voici la description d'un haut fourneau dont le plan est dû à M. Althans. Le muraillement extérieur est remplacé par une enveloppe en fonte semblable à celles qui servent à consolider les cubilots ou fourneaux à manche. L'élévation du fourneau est représentée par la Fig. 10, Pl. VII; une coupe dans le sens des tuyères par la Fig. 11; un plan pris à la hauteur des tuyères par la Fig. 12; un plan pris à la hauteur AB par la Fig. 13.

Sur les fondations pourvues de canaux, on place une plaque annulaire *aa*, munie de rebords *bb* et coulée en

une seule pièce ou composée de plusieurs parties. Sur cette plaque (Fig. 10, 11 et 12) on dresse d'autres plaques *cc* de forme cylindrique, liées par des boulons à clavette soit entre elles, soit avec de plus petites plaques *dd* et *ee*. Les plaques *ee* doivent s'enlever facilement, afin qu'on puisse gagner l'espace nécessaire pour reconstruire le creuset. Le reste de l'enveloppe du fourneau se compose d'anneaux coniques coulés d'une seule pièce ayant $0^m,10$ à $0^m,12$ d'épaisseur et $0^m,30$ de hauteur. Ils sont pourvus chacun d'une entaille à demi-épaisseur de métal, de manière qu'étant posés ils se recouvrent; mais il est essentiel qu'ils ne soient pas trop serrés l'un par l'autre, sans cela ils pourraient éclater par l'effet de la dilatation. On enduit tous les joints avec de la terre argileuse, douce et bien pétrie, avant d'assembler les plaques et les anneaux.

Lorsque le fourneau est activé avec du charbon de bois, la partie supérieure n'a pas besoin de briques réfractaires; ce sont les anneaux *gm* qui les remplacent et qui forment l'intérieur de la cuve. Le premier de ces anneaux est pourvu d'un pied *gg* muni de contre-forts *gh*; l'avant dernier ou bien l'antépénultième est armé de corbeaux K, sur lesquels s'appuie une plaque annullaire L, qui supporte la plate-forme du gueulard; la circonférence extérieure de cette plate-forme, est soutenue par des barres de fer s'appuyant sur le pied *gg*, ou elle pourrait l'être par un autre moyen qui paraîtrait plus commode.

Quand on emploie du coke pour combustible, on fait bien de continuer la maçonnerie de briques réfractaires jusqu'au gueulard: ces briques doivent avoir $0^m,38$ à $0^m,40$ de longueur pour les fourneaux à charbon de bois, et $0^m,48$ à $0^m,50$ pour les fourneaux à coke. Enfin on laisse entre les briques réfractaires et l'enveloppe de fonte, un espace de 6 à 10 centimètres, qu'on remplit avec des pierres concassées : on doit aussi prendre cette précaution pour la

construction de l'ouvrage, afin d'éviter les ruptures que la dilatation pourrait occasionner *.

---

* Parmi les hauts fourneaux de grandes dimensions, on peut citer ceux que nous avons fait construire à Lavoulte en 1826; ils furent achevés d'après nos plans, et mis en activité par notre successeur, en 1827. Ces hauts fourneaux sont alimentés avec un oxide rouge, très-riche, auquel on ajoute une certaine quantité de fer carbonaté argileux: ces minérais se trouvent sur les lieux, on les traite au coke, qui est tiré de Rives de Gier.

L'usine de Lavoulte (planche IX) se compose de quatre hauts fourneaux accolés, situés au pied d'une montagne non loin de la couche de minérais. Sur l'alignement des hauts fourneaux est le régulateur ainsi que le bâtiment des machines, qui renferme deux cylindres soufflants en fonte, activés par deux machines à vapeur dont chacune a la force de 60 chevaux: elles sont à moyenne pression, d'après le système de Steel, qui présente une modification avantageuse de celui de Wolf. Derrière les hauts fourneaux règne un mur de soutenement, qui s'élève jusqu'aux gueulards où s'étend une vaste plate-forme.

Nous n'avons fixé les dimensions de ces fourneaux qu'après avoir visité la majeure partie des usines d'Angleterre. Comparant au coke de Rives de Gier que nous avions à employer, les différentes espèces de coke employés en Angleterre à la fusion des minérais, et tenant compte de l'allure de chacun des fourneaux anglais sous le rapport de la consommation du combustible, nous sommes parvenus à nous procurer des données très-approximatives sur la largeur que nous devions donner à nos hauts fourneaux, pour obtenir une grande production, sans occasionner une trop forte dépense en combustible. Quant à la hauteur de ces foyers nous avons reconnu qu'il existe une limite qu'il ne faut pas dépasser, quelle que soit la quantité de fonte qu'ils doivent donner par jour: cette limite est à peu près de 48 à 50 pieds anglais ou 15 mètres.

Lorsqu'on adopte ce maximum de hauteur, on peut donner au gueulard une grande largeur, sans que la perte de chaleur soit notable, ou ce qui revient au même, sans qu'il en résulte une trop forte dépense en combustible: d'un autre côté la marche du travail en devient plus régulière et la production plus considérable (voyez la note du paragraphe 786, sur la largeur des gueulards). Les nôtres ont reçu tous $1^{m},68$ de diamètre, ce qui est à peu près les $\frac{2}{5}$ de la largeur du ventre.

Dans le pays de Galles, on trouve beaucoup de hauts fourneaux dont le ventre se prolonge en cylindre jusqu'à une certaine hauteur. Cette

806. Les hauts fourneaux sans ouvrage ont beaucoup d'analogie avec les flussofen, la figure 18, Pl. IV, nous représente la cuve d'un haut fourneau de cette espèce, existant à Finspang, en Suède. Tous les hauts fourneaux usités dans ce pays sont construits de cette manière : ils ne diffèrent entre eux, que par la forme de la courbe servant de profil à la cuve, et par les dimensions du creuset.

---

forme est avantageuse sous le rapport de la production; elle permet aux minérais de séjourner plus long-temps dans le ventre et de se mieux préparer à la fusion : c'est ce qui m'a déterminé à l'adopter pour tous les hauts fourneaux de Lavoulte; il ne peut en résulter aucun inconvénient, lorsqu'on ne dépasse pas certaines limites, c'est-à-dire lorsqu'on ne donne à la partie cylindrique que 1^{m} à $1^{m},25$ de hauteur.

Dans quelques usines du pays de Galles, comme dans les forges de Clydach, la partie cylindrique a 6 ou 8 pieds de hauteur; le cône qui la surmonte devient alors trop évasé, ce qui entrave le dégagement des gaz, à moins qu'on ne donne au gueulard une largeur démesurée.

Pour la maçonnerie extérieure des hauts fourneaux de Lavoulte, j'ai employé le schiste micacé qui se trouve sur les lieux. Cette pierre paraît très-propre à ce genre de construction, lorsqu'elle est dure et qu'elle se présente en couches planes. Elle supporte bien la chaleur et elle se détache en plaques larges de 16 à 20 centimètres d'épaisseur, ayant une bonne assise; mais elle est assez difficile à travailler. Cette maçonnerie ordinaire et les fondations, sont traversées par de nombreux canaux : ceux qui sont ménagés dans les fondations aboutissent aux voûtes qui se croisent à angle droit sous les creusets. Parmi les canaux qui sont au-dessus de terre, il en est pour chaque haut fourneau quatre, qui, ménagés dans les angles, s'élèvent depuis une petite distance du sol jusqu'au gueulard; ils servent non seulement au dégagement des gaz, lorsque le fourneau est en activité, mais aussi à la dessication de la maçonnerie, avant la mise en feu; il en sera question plus tard. La cuve et l'ouvrage ont été construits avec des briques réfractaires faites avec un mélange de deux tiers de quartz pilé et d'un tiers de terre réfractaire tirée de Bolène.

Nous n'entrerons pas dans le détail des différentes dimensions de ces hauts fourneaux qui produisent chacun de 6000 à 7000^{k} de fonte par jour; les dessins (Pl. IX) portant des cotes, indiquent ces dimensions avec exactitude. Le T.

Fermés sur le devant, ces fourneaux ressembleraient parfaitement aux flussofen; ils en différeraient seulement en ce que l'axe de la cuve ne se confond pas avec l'axe du creuset, qui reçoit une forme rectangulaire, tandis que les creusets des flussofen sont carrés. Lorsqu'on traite des minérais fusibles, et qu'on ne veut pas obtenir de la fonte grise, on donne au creuset des dimensions plus grandes qu'elles ne le seraient dans le cas contraire. La forme du rectangle a l'avantage d'augmenter la capacité du creuset; mais elle entraîne une grande inégalité dans l'inclinaison des étalages, ce qui est très-défectueux. En général les hauts fourneaux de Suède ne doivent pas être cités pour modèles.

807. Dans ces hauts fourneaux, l'ouvrage est remplacé par la partie de la cuve qui se lie au creuset. La région où doit s'effectuer la fusion n'a donc qu'une très-faible hauteur: pour opérer une séparation complète des matières, on est alors obligé de charger le minérai en doses plus faibles qu'elles ne devraient être, si le fourneau était pourvu d'un ouvrage. Il en résulte une perte de combustible, qui sera d'autant plus grande que la fonte doit être plus grise. Ces sortes de fourneaux, sont donc désavantageux sous ce rapport.

Il s'agit d'examiner encore l'influence qu'exerce sur la pureté du fer cru, un séjour prolongé dans une haute température. Un grand nombre d'analyses m'ont prouvé que la fonte grise contient toujours plus de manganèse et de silicium, que la fonte blanche obtenue avec les mêmes minérais: nous exceptons toute fois la fonte blanche produite par défaut de chaleur, et sans aucune surcharge (760). Au reste cette espèce de fer cru se présente si rarement dans les hauts fourneaux à charbon de bois, qu'on doit la regarder comme une exception à la règle, et

qu'il est inutile d'en tenir compte; mais son impureté et les circonstances qui président à sa formation, nous prouvent que la fonte, séjournant long-temps à une forte chaleur au milieu de substances étrangères, en absorbe une certaine dose, bien qu'elle ne soit pas exposée au degré de température voulu pour devenir grise. Or, la formation de la fonte grise est accompagnée des mêmes circonstances, et le degré de chaleur qui règne dans le foyer se trouve encore plus considérable; on pourrait en conclure, si l'on manquait de preuves directes, que la fonte grise est plus impure que la fonte blanche obtenue par surcharge de minérai, et qu'en général la fonte liquide séparée des scories doit être dérobée le plus promptement possible à l'influence de la plus forte chaleur. Ce résultat s'obtient plus facilement avec des hauts fourneaux sans ouvrage, qu'avec ceux qui en sont pourvus: ces derniers produisent une économie de combustible; tandis que les premiers, tels que les hauts fourneaux de Suède, agissent d'une manière avantageuse sur la qualité du produit.

On peut établir en principe, que toutes les méthodes par lesquelles les minérais se réduisent imparfaitement, améliorent la qualité du fer: tels sont le travail des stuckofen, le travail à la catalane, etc. C'est une suite naturelle de la basse température employée dans ces sortes de foyers; cette température est insuffisante pour opérer la réduction de la silice, de l'oxidule de manganèse, etc.: les floss caverneux obtenus au plus faible degré de chaleur qu'il soit possible d'employer, sont, par cette raison, plus purs que les floss lamelleux et ceux-ci le sont plus que la fonte grise produite par les mêmes minérais. Il s'ensuit aussi que cette dernière est d'autant moins carburée, qu'elle séjourne plus long-temps en contact avec les scories à une haute température; parce que ces matières, en se réduisant, lui en-

lèvent une partie de son carbone. Les ouvrages qui ont une grande hauteur, produisent donc un effet nuisible sur la qualité de la fonte qui est destinée pour l'affinage.

808. Concluons de ce qui précède que l'ouvrage d'un fourneau doit être haut, lorsque la fonte est destinée au moulage, et que le combustible exige, pour produire un degré de chaleur convenable, un foyer resserré, tandis que l'ouvrage doit être bas, lorsque la fonte est destinée à l'affinage. Quant aux hauts fourneaux sans ouvrage, nous ne pouvons, dans aucun cas, en conseiller l'emploi.

809. La régularité de la marche du travail exige aussi que les matériaux employés à la construction de la cuve, soient très-réfractaires. Il ne faut pas craindre les frais qu'entraînent l'achat et le transport des pierres de l'ouvrage : le maître de forges doit les chercher quelquefois au loin; la durée du fondage, la qualité des produits et l'économie en charbon, le dédommageront amplement de ses dépenses. Il est un pays renommé pour l'excellente qualité de ses fers, où il règne à cet égard la plus grande négligence; mais le travail des hauts fourneaux s'y trouve encore dans un état d'imperfection. L'emploi de mauvais matériaux dans la construction de l'ouvrage, occasionne des pertes considérables aux propriétaires des hauts fourneaux; cependant cette raison d'intérêt, si puissante ailleurs, n'a pas eu jusqu'ici assez de poids pour vaincre leurs anciennes habitudes.

DE LA MISE EN FEU.

810. Pour mettre un fourneau en activité, on commence par le sécher, c'est ce qu'on appelle *fumer*. Cette opération exige beaucoup de précautions, si la cuve a été

construite à neuf. On ferme d'abord avec de l'argile l'ouverture de la tuyère, pour modérer le courant d'air. Après avoir nettoyé le creuset auquel il manque encore la dame, on fait devant le fourneau, avec du bois sec, un petit feu, qu'on entretient constamment pour empêcher les variations de température. Les parois de l'ouvrage sont sujets à éclater, si l'on jette d'abord des charbons incandescens sur la sole du creuset; parce qu'il s'établit un tirage trop considérable et que les pierres subissent alors alternativement l'impression de l'air froid et celle de la chaleur. Lorsque la dessication est assez avancée, on introduit quelques charbons incandescens dans l'arrière-creuset, mais on se hâte de les couvrir de charbon frais, pour diminuer le tirage; à mesure qu'on aperçoit par le gueulard que la couche supérieure commence à rougir on y jette une nouvelle dose de charbon: c'est ainsi que les charges se succèdent. La quantié de combustible introduite dans le fourneau en une seule fois est assez indifférente.

Si l'on veut procéder avec beaucoup de lenteur, ce qui est essentiel lorsque le fourneau est neuf, on intercepte toute espèce de courant d'air, en fermant le creuset avec des briques ou des plaques de fonte et de l'argile; dans le cas contraire, lorsque le fourneau et la cuve ont déjà servi, on peut laisser un peu de passage à l'air, et remplir le fourneau à la fois quand on est parvenu au $\frac{2}{3}$ de sa hauteur. Mais si la cuve était neuve, on continuerait de charger très-lentement, jusqu'à ce que le fourneau fût plein: souvent on prolonge encore la dessication pendant huit ou quinze jours, ayant soin de remplir de temps à autre le vide laissé au gueulard par le combustible qui se consume.

Préparé de la sorte, le fourneau reçoit avec chaque charge de charbon, une petite dose de minérai rendu

très-fusible: on l'augmente insensiblement, bien qu'elle doive rester très-petite; car ce n'est que lorsque le fourneau est en pleine activité qu'il est possible de connaître et d'employer toute la charge de minérai que le charbon peut porter. Quelquefois on n'emploie que la chaux pure pour les quatre ou cinq premières charges; afin que par son apparition devant la tuyère, on soit prévenu de la prochaine arrivée des minérais.

Dès que la chaux ou le métal paraît dans l'ouvrage, on se hâte de nettoyer la sole, de placer la dame, de fermer le trou de la coulée avec du bouchage (de la terre glaise mêlée quelquefois de fraisil), d'arranger la tuyère ainsi que la buse et de donner le vent. On fait d'abord agir les soufflets avec beaucoup de lenteur, afin que la température, vu la faible charge de minérai, ne puisse s'élever assez fortement pour mettre en fusion les pierres de l'ouvrage et des étalages. On augmente le vent à mesure que des charges plus fortes se présentent dans l'ouvrage; mais ce n'est qu'au bout de 3 ou 6 jours qu'il doit recevoir la vitesse qui convient à la densité du combustible.

811. La dessication d'un fourneau à coke, plus longue encore, demande aussi de plus grandes précautions. Le feu de houille allumé devant le fourneau ne doit être approché du creuset que très-lentement; ce n'est qu'au bout de huit jours qu'on peut introduire des charbons incandescens dans le foyer: on les couvre alors de coke, et l'on procède comme pour les fourneaux à charbons de bois.

On est obligé, pendant cette opération appelée aussi *chauffage*, de nettoyer la sole de six en six heures. Quelques ringards enfoncés au-dessous de la tympe jusqu'à la rustine, appuyés à l'extérieur sur une barre de fer, et retenus

par des poids suspendus à leur extrémité, servent à supporter une plaque de fonte qui intercepte le passage de l'air et empêche le coke de tomber dans le creuset, pendant qu'on s'occupe à enlever les cendres et le fraisil. Dès que ce travail est achevé, on retire les ringards et la plaque, afin que le creuset puisse de nouveau se remplir de coke incandescent.

Il faut plus de temps pour dessécher et remplir graduellement les fourneaux à coke que pour les fourneaux à charbon de bois, parce que le coke brûle avec plus de lenteur que ce dernier. On ne doit pas précipiter cette opération : un fourneau mis trop vite en activité se fend intérieurement, ce qui entraîne des pertes de chaleur et une prompte dégradation. Si les parois n'ont pas été reconstruites à neuf, le coke employé à la dessication brûle avec une plus grande rapidité, parce qu'il y a moins de chaleur absorbée pour la vaporisation de l'humidité : on accélère la descente des charges, en nettoyant fréquemment le creuset et en laissant un léger passage à l'air audessous de la tympe. Si la cuve est neuve, on diminue ce passage, en fermant l'ouverture du creuset avec des briques ou bien avec une plaque de fonte et de la terre grasse.

Lorsque le fourneau rempli de coke est suffisamment échauffé, on donne quelques charges de chaux pure qu'on ajoute au combustible. Ce n'est qu'ensuite qu'on introduit par le gueulard une légère dose de minérai mêlée d'une forte addition de chaux, pour entraîner les cendres en fusion. Il est très-essentiel de composer d'abord un mélange de matières très-fusibles. On donne le vent aussitôt que la chaux paraît, et avant que la première charge de minérai ne se présente devant la tuyère. On est obligé de procéder ainsi, à cause de la viscosité des scories qui pourraient engorger la cuve et l'ouvrage, dès le commencement

de l'opération; c'est pour cette raison qu'on doit mêler avec les charges, du laitier pur et bien vitrifié, dont on diminue la dose à mesure qu'on augmente celle du minérai.

Dès que la chaux entre dans le creuset, on le nettoie, on place la dame, etc., etc. Les soufflets se meuvent d'abord très-lentement, car ce n'est qu'au bout de huit jours que le vent doit recevoir une vîtesse proportionnée à la nature du combustible.

812. Voici une excellente méthode de dessication employée en Suède et adoptée depuis long-temps avec beaucoup de succès aux forges de Sayner. Après avoir achevé tout l'ouvrage et posé la dame, sans avoir toutefois mis les tuyères en place, on enduit l'intérieur de l'ouvrage avec un mélange de chaux, de scories de forge, et du laitier de haut fourneaux délayé dans l'eau et converti en une pâte très-liquide. La couche doit avoir 4 ou 5 millimètres d'épaisseur; mise en fusion elle procure aux parois de l'ouvrage une enveloppe vitreuse qui les protège contre la première impression de la chaleur. Pour plus de sûreté, on revêt encore ces parois avec des briques communes, d'un pouce d'épaisseur, placées de champ; afin d'empêcher le contact des charbons embrâsés. Lorsque plus tard on donne le vent, ces briques entrent en fusion, s'éboulent et tombent sur la sole, d'où on les retire facilement avec un crochet en fer.

Lorsque ces dispositions sont prises on remplit tout l'ouvrage de charbon, et l'on jète une pelletée de ce combustible incandescent dans l'avant-creuset. Dès que le feu s'est propagé de manière à ne plus s'éteindre, on ferme toutes les ouvertures hermétiquement, le gueulard excepté. L'ignition est alors très-lente et toutes les vapeurs s'échappent par le haut. Dans un fourneau à charbon de

bois, de 8^{m} de hauteur, l'embrâsement se communique quelquefois jusqu'au gueulard en deux jours. S'il tardait trop à paraître, on activerait le feu à l'aide d'un canon de fusil qu'on introduirait sous la tympe: l'air entrant par ce tube serait dirigé vers l'axe du fourneau, en sorte qu'il ne frapperait pas contre ses parois.

A mesure que les charbons descendent, on remplit le vide laissé au gueulard. Le creuset reste fermé; on ne l'ouvre qu'une fois par jour pour le nettoyer: après que ce travail est terminé, on tire les charbons embrâsés dans l'avant-creuset, jusqu'à ce qu'il en soit rempli, on le recouvre avec une plaque de fonte, et l'on bouche toutes les ouvertures avec de l'argile. Cette opération ne peut devenir nuisible aux parois, parce qu'elles sont protégées par l'enduit de scories, et par le petit mur de briques ordinaires.

On continue la dessication, jusqu'à ce qu'on n'aperçoive plus de vapeurs aqueuses s'échapper par les canaux, surtout par ceux qui sont au-dessous de la sôle. Si le fourneau est neuf, on couvre le gueulard par une plaque; afin que la chaleur puisse mieux pénétrer dans l'intérieur de la maçonnerie, et que la descente des charges de charbon s'effectue avec plus de lenteur.

Les cendres et les scories qui s'attachent à la sole, se liquéfient pendant les premiers jours qu'on donne le vent: on doit chercher au commencement à tenir le creuset rempli de fonte; c'est d'ailleurs le meilleur moyen d'en complèter la dessication *.

---

* La dessication des hauts fourneaux à coke est un objet d'une si haute importance, qu'on ne doit négliger sous ce rapport aucune précaution. Lorsqu'en Angleterre, on a reconstruit un fourneau à neuf, on commence à dessécher la maçonnerie ordinaire avant de poser l'ouvrage. On allume d'abord de la houille dans les quatre canaux ména-

813. Dans plusieurs pays on a l'habitude de placer la dame avant d'avoir *fumé* le fourneau, de remplir toute la cuve avec du charbon frais, et d'allumer par le haut. Dès que le feu ne menace plus de s'éteindre, on ferme le devant du creuset, et l'on couvre le gueulard avec une plaque de fonte percée de quelques trous. De temps à autre on donne de l'air par la tympe. Cette mise en feu s'effectue avec une lenteur convenable; mais cet avantage peut aussi s'obtenir par les méthodes décrites précédemment. Par la dernière, le creuset se remplit de fraisil, de cendres vitrifiées et de laitiers visqueux, à tel point qu'il se passe plusieurs jours avant qu'il soit entièrement nettoyé. Le charbon est remplacé à mesure qu'il se consume. Au commencement de l'opération, le feu s'éteint

---

gés dans les coins et régnant depuis la sole jusqu'au gueulard (voyez la note sur les hauts fourneaux de Lavoulte, paragraphe 805, et Pl. IX). Le feu est très-petit pendant les 4 ou 5 premiers jours, on l'augmente ensuite et on l'entretient pendant trois semaines entières. Cette opération peut avoir lieu en même temps qu'on achève la construction du creuset et des étalages. Après que ceux-ci sont terminés, on les laisse sécher à l'air pendant 8 jours, on allume ensuite du coke mêlé de houille dans toutes les embrasures à $1^{m},20$ de distance des pierres réfractaires, et l'on tapisse les parois de l'ouvrage avec des briques communes. Ce n'est qu'avec la plus grande précaution qu'on rapproche le feu du creuset. Après cela, on suit la méthode décrite au paragraphe 810, mais on procède avec une extrême lenteur; au lieu de charger dès qu'on voit la couche supérieure de combustible devenir incandescente, on attend jusqu'à ce que les cendres se montrent déjà sur le coke. La dessication dure au moins un mois, non compris les 20 ou 25 jours employés d'abord pour dessécher la maçonnerie extérieure. Dans le pays de Galles, on se dispense de tapisser les parois de l'ouvrage avec des briques communes, bien qu'on procède avec beaucoup de lenteur; mais cette pratique est généralement suivie dans le Straffordshire, où les creusets sont moins larges: nous ne devrions jamais nous en dispenser, surtout lorsque l'ouvrage est construit avec du grès réfractaire, avec des briques non cuites, ou bien avec de la terre battue en pisé.

Le T.

quelquefois par défaut d'air. Si les cuves sont neuves, on est obligé d'enflammer à plusieurs reprises les vapeurs qui se dégagent; il en résulte toujours une détonation qui, quoique légère, se prolonge depuis le gueulard jusque dans l'ouvrage : une partie des vapeurs est d'ailleurs réfoulée dans la cuve; cette pratique est vicieuse.

DU TRAVAIL DES HAUTS FOURNEAUX.

814. Après avoir donné le vent, le fondeur doit avoir grand soin que les matières solides ne se tassent pas, ne se compriment pas dans le creuset, et que la fonte, ainsi que le laitier, puissent s'y loger et en remplir peu à peu toute la capacité.

L'avant-creuset, lors même qu'il ne contient pas une très-grande quantité de scories, doit être fermé avec du fraisil ou avec de la terre glaise, si la rapidité du courant d'air l'exige; afin qu'on ne perde par cette ouverture que le moins de chaleur possible.

Si la dame est trop haute pour laisser écouler les scories, on les *hale* lorsqu'elles s'élèvent jusqu'à la tuyère; on enfonce à cet effet des ringards dans l'avant-creuset, on soulève la première couche de matières, on la retire et l'on fait sortir ensuite le laitier liquide avec le crochet appelé *croard*, et quelquefois aussi avec une pelle. Si pendant cette opération, le fondeur s'aperçoit que des matières durcies se soient attachées à la tympe ou aux costières, il les enlève avec le ringard : son devoir est de sonder l'ouvrage dans toute la longueur. S'il rencontre des pierres tombées de la cuve ou des masses figées, il les retire du creuset; mais il doit exécuter ce travail avec une grande célérité pour ne pas trop refroidir l'avant-creuset qu'il recouvre avec du fraisil aussitôt que l'opération est terminée.

Si les scories doivent s'écouler librement sur la dame,

on doit fermer l'avant-creuset avec des matières très-compactes, afin que ces scories retenues dans l'ouvrage puissent acquérir une grande liquidité. Lorsqu'elles ont atteint la hauteur de la tuyère, on perce la couche d'argile qui recouvre l'avant-creuset : le laitier s'écoule alors par l'ouverture pratiquée vis-à-vis du milieu de la dame. Cette manière de procéder, lorsqu'elle est praticable, doit être préférée à l'autre, parce qu'il y a moins de chaleur perdue et que les scories séjournant davantage dans le foyer, deviennent plus chaudes, plus liquides, et se laissent mieux traverser par les gouttes métalliques; tandis que le laitier de halage, qui est très-visqueux, renferme toujours des grains de fonte.

Lorsque l'ouvrage et l'avant-creuset ont de grandes dimensions, il faut avoir soin que la communication de l'un à l'autre ne soit jamais interrompue par le tassement des matières, qui se compriment sous la tympe : en négligeant cette précaution, on occasionnerait un durcissement des scories ou de la fonte contenues dans l'avant-creuset. On y laisse passer le vent pendant quelques instans, avant de le fermer avec du fraisil ou de la terre glaise, afin de l'échauffer convenablement.

815. Dans les fourneaux alimentés avec du charbon de bois, les opérations à exécuter pour haler ou faire écouler les laitiers et nettoyer le creuset, ne présentent aucune difficulté; mais dans les fourneaux à coke, ce travail devient extrêmement pénible, à cause du fraisil et de la viscosité des scories : c'est principalement pour se débarrasser de la première de ces substances, qu'on est obligé de nettoyer le creuset fréquemment et avec le plus grand soin. Cette matière incombustible, si elle n'était pas enlevée à temps, se mêlerait avec le laitier, le rendrait si tenace et si gluant qu'on ne pourrait le retirer de l'ouvrage qu'avec beaucoup de peine.

Le nettoyement du creuset doit s'exécuter régulièrement de 6 en 6 heures. Si le coke contient des parties schisteuses et qu'il donne naturellement un laitier visqueux, on doit redoubler d'attention, surtout lorsque l'ouvrage commence à s'élargir et que la chaleur n'est plus assez forte pour entretenir les matières dans un état de liquidité parfaite.

816. Lorsqu'on veut nettoyer l'ouvrage, ce qui exige toujours la présence de tous les ouvriers du haut fourneau, le fondeur commence par détacher les laitiers durcis qui obstruent la tuyère, et par intercepter le courant d'air. Il enfonce ensuite son ringard dans l'avant-creuset, pour enlever la première couche de matières : c'est là qu'il rencontre fréquemment des masses de laitier durcies, fixées aux costières, à la tympe et à la dame; il les détache à coups de ringard. Lorsque la partie supérieure de l'avant-creuset est nettoyée, un ouvrier fait sortir avec le *croard* (espèce de crochet plat et rectangulaire), le laitier liquide; tandis qu'un autre placé sur le côté, détache avec un petit ringard les scories durcies et figées contre les faces des avant-costières.

Le laitier retiré du fourneau, est arrosé d'eau et transporté aussitôt hors de l'usine.

Après avoir terminé cette première opération, on enfonce le long des deux costières et jusqu'à la rustine deux ringards, qui, appuyés ensuite contre la tympe et maintenus dans une direction convergente, puis retirés du foyer avec les plus grands efforts, amènent avec eux du laitier visqueux mélangé de fraisil : un ouvrier l'enlève de l'avant-creuset avec une pelle, tandis qu'un autre vient à son secours avec le ringard. Si ce laitier était très-liquide, on pourrait, au lieu de pelle, se servir de croard, mais on ne doit jamais employer cet outil lorsque les scories sont

disposées à se boursouffler, ou bien lorsqu'il n'y en a que très-peu dans l'ouvrage, parce qu'on enleverait en même temps une trop grande quantité de coke.

On tire le laitier à plusieurs reprises selon la largeur de l'ouvrage et selon la quantité amenée chaque fois.

Les ringards qu'on emploie pour donner du jour, pour soulever et tirer les scories, ont différentes dimensions d'après l'usage auquel ils sont destinés.

Le travail est d'autant plus facile qu'il y a plus de fonte dans le creuset: les matières sont alors plus liquides et plus maniables; c'est pour cette raison qu'on l'exécute immédiatement avant la coulée.

Lorsque le creuset est nettoyé et qu'on ne veut point couler la gueuse, le fondeur laisse passer le vent pendant une minute ou deux au-dessous de la tympe, soit pour échauffer l'avant-creuset, soit pour chasser le fraisil qui peut s'y trouver encore, et qui se répand alors dans toute l'embrasure du travail comme une pluie de feu. Cela fait, il referme la tuyère, donne quelques coups de ringard sous la tympe, pour entretenir la communication de l'intérieur du foyer avec le dehors, tire à l'aide d'un crochet du coke incandescent sur le devant, jette dans l'avant-creuset du fraisil qu'il couvre d'une couche de terre glaise, et débouche la tuyère pour la seconde fois.

Si l'on coulait la gueuse, on profiterait du moment de la coulée pour échauffer l'avant-creuset, en laissant passer le vent sous la tympe.

Lorsque le fourneau est dérangé, et qu'il se forme des scories corrosives, qui se figent très-promptement par l'action du vent, qui attaquent l'ouvrage et occasionnent des engorgemens, on doit nettoyer le creuset plus fréquemment. Quelquefois on est obligé d'y procéder toutes les deux heures; mais en ce cas il faut mettre la plus grande célérité dans l'exécution de ce travail, pour ne pas trop refroidir l'ouvrage.

817. On coule la fonte au bout de vingt-quatre heures, ou seulement deux ou trois jours après la mise en feu, selon les dimensions du creuset. La gueuse obtenue à la première ou à la deuxième coulée, est souvent blanche, bien que le minérai soit chargé en faible dose *. Souvent même on obtient de la fonte blanche pendant plusieurs jours, lorsque le fourneau n'a pas été desséché convenablement et qu'il a reçu une cuve neuve. Les parois absorbent alors tant de chaleur par la vaporisation de l'humidité, que le fourneau ne peut acquérir le degré de température nécessaire au changement de la fonte blanche en fonte grise. C'est encore pour cette raison, que le charbon ne doit recevoir qu'au bout de plusieurs semaines, toute la charge de minérai qu'il peut porter.

On doit user de beaucoup de ménagement pour ne pas surcharger le fourneau pendant les premiers jours, parce qu'il se formerait des engorgemens qui pourraient exercer une influence très-préjudiciable sur le travail de toute la campagne. Pour augmenter les charges pendant la première quinzaine, on doit consulter chaque fois l'allure du fourneau et être certain qu'il se trouve dans une situation favorable. Lorsque les parois et le muraillement ont acquis le degré de chaleur qu'ils doivent conserver, une surcharge accidentelle ne peut plus avoir des suites aussi graves, parce que les murs peuvent céder une portion de calorique et restituer en partie celui qui se trouve absorbé par un excès de minérai. Il suit de là, que les parois, les contre-parois et le remplissage, se pénétrant, lorsqu'ils ont une forte épaisseur, d'une grande quantité de calorique, doivent retarder le moment où le fourneau se trouve en plein rapport, mais ensuite, ils contribueront

* La première fonte obtenue dans des fourneaux alimentés avec du charbon de bois, est ordinairement très-grise. Le T.

aussi à la régularité de la marche, en atténuant les accidens fâcheux qui pourraient naître d'une surcharge de minérai.

Nous supposons toutefois que le fourneau soit isolé, et qu'il ne puisse céder son calorique, qu'à l'atmosphère, comme tous les corps bons ou mauvais conducteurs; car si la cuve était taillée dans le roc, on ne pourrait jamais charger toute la dose de minérai que le charbon porterait dans d'autres circonstances.

818. A mesure que les charges descendent, elles laissent au gueulard un vide, dont la profondeur se mesure avec une barre de fer courbée à angle droit, et qu'on appelle *bécasse*. Il est essentiel que ce vide ne devienne jamais si profond qu'une charge de charbon et de minérai ne puisse pas le remplir; car une trop grande quantité de matière introduite à la fois dans le fourneau pourrait le refroidir. La négligence du chargeur a par conséquent une influence très-nuisible sur la marche du travail; elle doit toujours être suivie d'une punition sévère.

Ces sortes de précautions ne peuvent avoir lieu avec les hauts fourneaux anglais dont la cuve est cylindrique, et qui ont 5 mètres de diamètre au ventre; on charge alternativement sur quatre ou cinq côtés, sans avoir d'autre soin que de tenir le fourneau toujours plein de matières.

819. Il est essentiel que le charbon soit le plus sec possible; il faut donc le conserver sous des hangars. Le coke se tire des meules immédiatement avant son emploi; on ne devrait jamais en avoir d'avance pour plus de ving-quatre heures.

Le combustible est chargé à la mesure, il ne doit pas l'être au poids : son état d'humidité est si variable qu'il

arrive souvent que les charbons les plus pesans sont précisément ceux qui produisent le moins d'effet : en les prenant au poids on pourrait donc commettre les plus graves erreurs *. Il faut faire en sorte que le volume de la charge reste toujours le même. On y parvient le plus sûrement en mesurant le charbon avec un cylindre qui, confectionné en tôle forte, supporté sur quatre roulettes de fonte et pourvu d'un fond mobile qu'on peut enlever par un mécanisme simple, se trouve conduit sur un châssis en fer immédiatement au-dessus de l'ouverture du gueulard, où on le décharge en retirant le fond mobile.

Cette manière de mesurer le charbon et de le verser dans le fourneau, est pratiquée sur-tout pour le coke, parce que les suites d'une légère variation dans les charges, sont plus graves, quand on fait usage de ce combustible qu'en employant le charbon de bois; mais il est aussi plus facile de mesurer le coke, puisqu'on l'introduit dans le fourneau en plus faible quantité.

Lorsque les charges de charbons de bois sont tellement grandes, que l'emploi d'un cylindre en fer devient incommode à cause de son poids, on doit se servir au moins de caisses en bois supportées sur des roulettes.

Si la machine qui sert à élever les matières sur la plateforme du gueulard n'est pas assez puissante pour enlever

* On pourrait croire au premier abord, que si les charbons de bois durs sont mêlés avec les charbons tendres, ce qui n'arrive que trop souvent, il faudrait charger au poids. Cependant il n'en est pas ainsi; l'ouvrier en remplissant les mesures peut faire la compensation nécessitée par la présence des charbons de bois blanc, qu'il reconnait facilement; mais il ne peut apprécier le degré d'humidité du combustible. En pesant les charges, on double l'action nuisible de l'eau, parce que les plus mauvais charbons, les charbons humides, sont précisément ceux qui ont la plus grande pesanteur spécifique. Le T.

d'une seule fois toute la dose du coke, on peut charger à plusieurs reprises, parce que ce combustible s'enflamme si lentement qu'il peut rester dans le gueulard sans être couvert de minérai. Il n'en est pas de même avec le charbon de bois, qui, exposé au contact de l'air, entrerait en combustion.

Vouloir mesurer les charges par un certain nombre *de rasses*, ou paniers d'une forme ellipsoïdale, ce serait adopter une méthode très-défectueuse; parce que les rasses n'ont pas toutes la même capacité, et que le chargeur ne peut les remplir également. Cette manière de procéder exigerait un ouvrier très-intelligent et très-attentif.

820. Dans le cas même où le charbon est mesuré avec la plus grande exactitude, l'effet produit peut néanmoins varier d'une charge à l'autre, si, comme on le pratique dans plusieurs usines, les essences de bois sont mêlées ensemble. Ces sortes de variations sont moins fréquentes dans les fourneaux à coke, si toutefois ce combustible provient d'un seul banc et si l'on a soin de ne carboniser dans une seule meule que de la houille d'une même couche et d'une même qualité; ce qui d'ailleurs est indispensable, puisque les différens charbons de terre exigent chacun un mode de carbonisation particulier. Il faut pour cette raison mélanger les cokes d'espèces différentes en proportions déterminées, ou bien alterner les charges.

821. C'est un procédé très-vicieux que de mêler le charbon de bois dur avec le charbon tendre, parce que l'un peut supporter une bien plus grande quantité de minérai que l'autre. De sorte qu'en ne prenant accidentellement que du charbon dur, on fait une dépense inutile, et si au contraire, on charge plusieurs fois en charbon tendre, le fourneau se refroidit et la fonte devient blanche.

La grosseur et la siccité des charbons influent fortement sur l'effet qu'ils peuvent produire. Il faut que le chargeur ait assez d'intelligence pour diminuer la charge de minérai, lorsque le charbon se trouve être de mauvaise qualité: cependant, ce n'est que pour les fourneaux qui sont petits qu'on doit lui laisser cette latitude; dans ceux qui ont de grandes dimensions, il se fait d'une charge à l'autre une espèce de compensation. Les chargeurs de ces foyers, comme ceux des fourneaux à coke, ne doivent par conséquent avoir d'autre soin que de remplir les mesures avec la plus scrupuleuse exactitude; mais il est sous-entendu alors que le charbon de bois tendre doit être séparé de celui qui provient de bois dur: le contraire serait d'ailleurs la preuve d'une administration vicieuse.

De très-gros charbons laissent entre eux de si grands interstices que les minérais peuvent couler au travers des lits du combustible, tandis que les petits charbons sont souillés de sable, interceptent le passage à l'air et se consument sans donner beaucoup de chaleur. Il faut donc que les *cœurs* (les petits charbons qui sont très-brûlés et qui proviennent du centre de la meule) soient employés seulement pour le grillage des minérais et pour d'autres opérations de ce genre, et que les trop gros charbons soient brisés par le chargeur, qui d'ailleurs doit s'arranger de manière que les plus gros occupent la couche inférieure et les plus petits la couche supérieure du combustible.

822. Le volume des charges dépend de la capacité du fourneau. Trop fortes, elles refroidiraient les régions supérieures de la cuve, ce qui présente de grands inconvéniens, si le minérai contient du zinc, parce que la formation du dépôt ou de la cadmie en est favorisée. Les petites charges sont traversées ou déplacées par le minérai, ce qui occasionne des chutes, des descentes obliques et des ébou-

lemens. Il s'ensuit que le volume des charges, proportionné d'ailleurs à la largeur du ventre, doit augmenter à mesure que le charbon est plus léger, plus susceptible d'être déplacé, et à mesure que le minérai est plus friable, plus pesant ou d'une forme plus arrondie. C'est aussi pour cette raison que les charges en coke peuvent être plus faibles que les charges en charbon de bois.

823. La chaleur, considérée dans une tranche quelconque de la cuve, doit être d'autant plus intense que la couche de charbon arrivée à cette tranche est plus épaisse. Il s'ensuit que du minérai fusible, disposé à entrer trop tôt en liquéfaction, exige de plus faibles charges que n'en demanderait un minérai réfractaire. Si les lits de charbon et de minérai ont une trop grande épaisseur, la cuve ne sera plus assez échauffée dans les régions élevées. Il résulte de là, qu'il existe un maximum et un minimum pour chaque largeur du fourneau, et pour chaque espèce de minérai et de charbon. Ce n'est donc que par l'expérience qu'on peut connaître la quantité de charbon la plus convenable dont une charge doit se composer.

824. Les volumes des charges de charbon employées en Silésie pour des fourneaux de $9^{m},40$ à $12^{m},50$ d'élévation, sont de 8,66 à 9,27 hectolitres.

En Suède et en Norwége, la charge en charbon est ordinairement de 15,45 hectolitres pour des fourneaux de $9^{m},40$ de hauteur *.

---

* Il est probable que le charbon de ces charges, qui sont très-fortes, provient de bois résineux. — A Longuyon, où l'on dispose de charbons durs et de minérais assez réfractaires, le volume des charges est tout au plus de 4,80 hectolitres (ou 14 ppp. de roi), et l'allure du fourneau, qui a 8 mètres d'élévation, me paraît très-avantageuse. Le T.

En Russie, les charges sont souvent de 24,73 hectolitres, pour des fourneaux de $12^m,55$ de hauteur et de $2^m,50$ de largeur au ventre.

Si l'on considère que le charbon est brûlé en partie au moment où il arrive à la hauteur des étalages, on doit sentir la nécessité d'employer des charges assez fortes pour qu'elles ne soient pas traversées alors par la matière qui est dans un état pâteux. Un ventre de $2^m,50$ de largeur présenterait une superficie de $4^m,9$ carrés; une charge de 15,45 hectolitres répartie sur cette surface aurait 31 centimètres d'épaisseur, abstraction faite et de la compression qu'éprouvent les matières, et du charbon qui aurait été brûlé précédemment. Les charges usitées en Silésie seraient trop faibles, principalement pour des minérais friables, si, à cause de la présence du zinc, on ne craignait pas de refroidir le gueulard. On doit employer des charges moins fortes pour un fourneau qui a peu d'élévation que pour celui dont la hauteur serait plus grande, lors même qu'ils auraient tous les deux la même largeur au ventre.

825. Plusieurs métallurgistes prétendent avoir trouvé une économie dans la diminution des charges; d'autres ont proposé même de faire un mélange de toutes les matières. Mais ce n'est que pour des minérais fusibles, traités dans des fourneaux étroits et d'une faible hauteur que les petites charges peuvent présenter quelqu'avantage. Quant au mélange de toutes les matières introduites dans le fourneau, il produirait un engorgement aussitôt qu'il serait descendu devant la tuyère; à moins que le minérai extrêmement fusible ne donnât un laitier très-liquide. Il est évident du reste, qu'une partie pourrait se réduire; qu'une autre entrerait en vitrification; que les charbons seraient tellement enveloppés de laitier et de matières pâteuses, qu'ils brûleraient avec une extrême lenteur; enfin que le

produit de l'opération serait hétérogène, en ce qu'une partie se trouverait à l'état de fer demi-affiné et l'autre à l'état de fonte blanche.

Le travail suit une marche d'autant plus uniforme, et la chaleur est d'autant plus intense que les couches de minérai sont mieux soutenues par le combustible. Il s'ensuit que les charges qui sont petites doivent occasionner de fréquentes irrégularités, parce qu'il peut en résulter un mélange de matières, et que le vent est alors disposé à se répartir inégalement.

826. Le coke, qui est moins combustible que le charbon de bois, peut être chargé en bien plus faible dose que celui-ci, parce qu'en arrivant au ventre, il n'est pas si fortement diminué de volume. Les charges de coke usitées en Silésie, pour des fourneaux de $12^m,55$ de hauteur, sur une largeur de $3^m,45$ à $3^m,75$, n'étaient anciennement que de 3,70 hectolitres; de sorte qu'au ventre l'épaisseur de la couche de combustible se trouvait être à peine de 4 à 5 centimètres. Ces faibles charges occasionnaient souvent des irrégularités dans la marche du fourneau ou dans la descente des matières. On les a par conséquent changées, et on les fait à présent de 7,4 hectolitres et même de 11. Pour ce qui est de la consommation de combustible, on ne s'est aperçu d'aucune différence en faisant varier les charges entre 3,7 et 14,8 hectolitres. En les prenant de 7,40 hectolitres seulement, on n'avait même d'autre raison que d'éviter les erreurs en comptant, parce qu'on ne pouvait enlever avec la machine en une seule fois, que 3,70 hectolitres.

827. On réduit les minérais seuls ou mêlés ensemble (paragraphe 413, 420, 455, 459). Dans le premier cas, ils sont naturellement fusibles, ils le sont quelquefois au

point que, traités dans les hauts fourneaux, ils peuvent à peine donner de la fonte grise, parce qu'ils entrent trop tôt en fusion et deviennent trop liquides. Quelque grande que soit alors la proportion de charbon, la fonte reste blanchâtre, surtout lorsque par un vent fort, on élève le point où s'effectue la fusion. Si, avec ces minérais fusibles et riches, on voulait produire de la fonte grise, il faudrait employer un courant d'air très-faible; on perdrait alors une grande partie de l'effet que le charbon peut produire. On fait donc mieux de les traiter pour fonte de forge dans des cuves larges, pourvues d'ouvrages d'une petite hauteur, et de les charger en grande proportion par rapport au combustible. On ne doit les fondre dans les hauts fourneaux qui ont des ouvrages élevés, que dans le cas où l'on veut obtenir de la fonte de moulage, et qu'on peut les mêler avec des minérais réfractaires et pauvres: il faut alors que la masse du laitier produite soit assez considérable pour protéger la fonte contre l'action du courant d'air.

828. En assortissant* les minérais, on a pour but d'obtenir des mélanges d'une richesse et d'une fusibilité moyenne, ou bien d'employer en faible dose des minérais d'une qualité médiocre. On ne peut donc établir à ce sujet aucune règle générale: tout est déterminé par la nature de la gangue.

La quantité et la nature du fondant employé dépendent également de la composition du minérai: on ne peut les connaître que par l'expérience. Le manque de ces matières stériles qui favorisent la fusion, se manifeste par la viscosité du laitier. L'excès de fondant se reconnaît

* Assortir les minérais, c'est mélanger diverses espèces, afin qu'on puisse les traiter avec plus de facilité dans le haut fourneau, et en obtenir de meilleurs produits. Le T.

par la fluidité des scories qui, dans ce cas, sont corrosives, avides de fer et se trouvent accompagnées de fonte blanche, sans que le fourneau soit dérangé. Si, dans ce cas, on augmentait encore la quantité de fondant, le laitier deviendrait visqueux et obscurcirait la tuyère, lors même que le charbon serait en proportion voulue. La dose de fondant la plus convenable est celle qui, toutes choses égales d'ailleurs, fait supporter au charbon la plus forte charge de minérais.

829. Les minérais qu'on veut mêler ensemble, ainsi que le fondant, sont uniformément répandus par couches et en dose voulue sur un emplacement *ad hoc;* de sorte que les charges prises sur le tas et au poids se trouvent dans les proportions voulues : souvent aussi on se dispense de les mêler ensemble avant de les introduire dans le haut fourneau; mais en tout cas, il faut peser chaque espèce séparément ainsi que le fondant.

830. On introduit le minérai dans le gueulard, soit avec la pelle, soit avec de petites caisses appelées *baches,* en comptant le nombre de pelletées ou de baches, soit à l'aide d'un cylindre en fer, qui contenant toute la dose de minérai prise au poids, est transporté immédiatement au-dessus de l'ouverture de la cuve, d'où il verse la charge dans le fourneau.

Le chargement au volume est très-défectueux :

1° Parce que les vases qui servent de mesures ne contiennent jamais une égale quantité de minérai;

2° Parce que les minérais les plus denses et les plus pesans exigent aussi plus de charbons pour être réduits et fondus;

3° Parce qu'on fait nécessairement abstraction de l'eau dont les minérais sont imbibés, à moins qu'on n'accorde

au chargeur la latitude de varier la dose, ce qui n'est pas sans inconvénient.

Il est évident que ces méthodes sont d'autant plus imparfaites que les baches ont moins de capacité. On doit donc toujours charger au poids. Il est essentiel que l'ouvrier ait une balance à sa disposition; si l'on négligeait d'en faire usage, on ne pourrait compter sur aucune régularité dans le travail. Les baches ou en général les vases dont on se sert pour charger, sont mis pleins sur le plateau de la balance; on ôte ensuite, ou l'on ajoute ce qui est nécessaire pour faire le poids voulu.

831. Le minérai mal bocardé, humide ou mal grillé, exerce sur la marche du haut fourneau une influence d'autant plus nuisible que ce dernier est plus petit.

Un minérai réfractaire ou mal grillé produit de la fonte blanche par surcharge, lors même que la proportion de charbon est très-considérable. Quelquefois même on retire du creuset des fragmens demi-fondus ou à l'état vitrifié. Une semblable allure du fourneau entraîne une immense consommation de matières, et occasionne souvent des engorgemens dans l'ouvrage.

Le minérai humide refroidit le fourneau d'une manière étonnante; on est donc obligé d'en diminuer la charge, pour conserver le degré de chaleur voulu. Celui qui est ocreux et friable, qu'on ne peut sécher que difficilement et qui s'imbibe d'une grande quantité d'eau, devrait être conservé à couvert, afin qu'on pût le tirer des halles, du moins pendant l'hiver et les temps de pluie. Dans la belle saison, il n'y a point d'inconvénient à le prendre sur des tas qui sont en plein air, surtout lorsqu'on a la précaution d'enlever toujours la couche supérieure desséchée par le soleil.

Si les minérais humides sont mêlés d'argile, il arrive

souvent qu'ils s'agglutinent et descendent en fortes masses dans le foyer. Les masses, qu'on retire du creuset et qui pourraient engorger tout l'ouvrage, se composent d'un mélange de scories visqueuses et de minérais demi-réduits. Ces matières aglutinées peuvent mettre un fourneau à coke dans le plus grand danger; si le combustible produit beaucoup de fraisil, le fourneau se refroidit alors à tel point, tant par l'humidité des minérais que par le travail dans l'ouvrage, qu'on a de la peine à le maintenir en activité.

832. On est dans l'usage de charger toujours la même quantité de charbon et de ne faire varier que la dose de minérai. Se servant constamment des mêmes matières, on pourrait croire au premier abord que la proportion de minérai reconnue la plus convenable, lorsque le fourneau est en bonne allure, ne devrait jamais être changée. Mais les variations dans la quantité d'eau mêlée ou combinée avec le minérai et le charbon, l'élargissement successif de l'ouvrage, les brèches qui se font dans la cuve et dans les étalages, l'inégal effet des machines soufflantes, la négligence des chargeurs et des fondeurs, ainsi que mille autres causes accidentelles, forcent souvent de diminuer la dose de minérai, afin qu'on puisse toujours obtenir la même espèce de fonte, entretenir le même degré de chaleur et prévenir les engorgemens de l'ouvrage. Il arrive presque toujours que les circonstances qui nécessitent une semblable diminution sont passagères, et que plus tard on peut augmenter les charges en y procédant avec ménagement.

La marche du fourneau se reconnaît à la flamme du gueulard, à celle de la tympe, à l'aspect de la tuyère, à celui du fer cru, à la descente des charges et principalement à la nature des scories. C'est en observant cette marche qu'on peut savoir s'il faut augmenter ou diminuer la proportion de minérai.

833. Le chargement se fait de manière que, dans les fourneaux à charbon de bois, le combustible se trouve toujours couvert par le minérai, tandis que dans les fourneaux à coke, on verse quelquefois le combustible sur le minérai introduit d'abord dans le gueulard (570). Cette méthode, adoptée seulement pour le coke compacte et difficile à brûler, sert à le préparer à la combustion. On étend le charbon et le minérai avec un *rable*; ce n'est que pour de petit charbon et du minérai friable qui se serrent fortement, ou bien dans des fourneaux d'une grande hauteur, et généralement dans toutes les circonstances où l'on doit craindre que le courant d'air ne puisse s'élever à travers les matières, qu'il faut jeter le minérai dans le gueulard en tas arrondi, afin que l'air et le gaz trouvent des issues le long des parois de la cuve. On ne doit pas verser le minérai d'un seul côté pour remédier à quelque défaut de construction, pour forcer le vent de se chercher un passage du côté opposé où la pente des étalages est plus rapide. De semblables moyens manquent toujours leur but et peuvent occasionner des engorgemens, des descentes obliques et des chutes de matières.

Lorsque le fondant n'est point mêlé avec le minérai avant qu'ils soient versés dans le gueulard (829), on doit avoir soin de le répandre uniformement sur toute la charge.

834. Le nombre des charges qui peuvent descendre dans les 24 heures, dépend principalement de la quantité de vent qu'on donne au haut fourneau. Mais l'effet de la machine soufflante restant le même, la vitesse de la descente sera d'autant plus grande que la température du fourneau sera plus élevée. C'est pour cette raison que les charges se succèdent plus lentement, pendant la première quinzaine qui suit la mise en feu, que lorsque le fourneau est

en plein rapport. C'est encore en vertu du même principe que l'humidité du charbon ou du minérai retarde la descente des charges, et qu'une trop forte accumulation de scories dans l'ouvrage produit le même effet, probablement parce que le vent rencontrant trop d'obstacles ne peut conserver une vitesse suffisante, ce qui a lieu surtout dans les fourneaux à coke dont les laitiers sont si visqueux. En se débarrassant de ces laitiers, un fondeur habile fait descendre, dans un temps donné, quelques charges de plus qu'un ouvrier négligent ou mal-adroit *.

Les petits fourneaux sont desservis convenablement par 3 hommes, dont un fondeur et deux ouvriers occupés à peser ou à mesurer les charges, à les transporter, et à les verser dans le gueulard. Les fourneaux de grandes dimensions exigent pour ces travaux 4 hommes, sans compter le fondeur. Comme ces ouvriers sont relevés de leur travail de douze heures en douze heures, les petits foyers exigent deux fondeurs avec quatre chargeurs, et les grands, deux fondeurs avec 6 ou 8 chargeurs. Du reste, le nombre des manœuvres dépend des localités; car le travail du fourneau considéré en lui-même, n'exige réellement que deux fondeurs et deux chargeurs.

835. Lorsque le creuset est rempli, qu'il ne reste que peu de distance de la surface de la fonte à la tuyère, on procède à la coulée **. Le fondeur commence alors par nettoyer la tuyère et par enlever de l'ouvrage les masses

---

* C'est aussi pour cette raison que les maîtres de forges anglais payent les ouvriers des hauts fourneaux d'après le poids des produits obtenus ainsi que nous le faisons pour l'affinage. Les fondeurs français au contraire, ainsi que les chargeurs, sont payés au mois ou à l'année. Le T.

** Dans beaucoup d'usines, on coule après un nombre de charges déterminé. Le T.

durcies et les laitiers visqueux (815, 816), opération qui pour les fourneaux à coke, est indispensable et qui précède toujours le moment où l'on veut couler la fonte. On prépare ensuite les rigoles par lesquelles le fer cru est conduit dans les moules. Pour cet effet, on bêche le sable afin qu'il soit moins serré; quelquefois même, on tapisse l'intérieur de ces canaux, lorsqu'ils sont déjà formés, avec du sable frais mêlé de fraisil. La rigole principale, celle qui aboutit au fourneau, reçoit un élargissement considérable, formant une espèce de bassin à l'endroit où se termine la plaque ou pièce de fonte appelée *gentilhomme*.

On est obligé de lâcher le fer liquide dans un semblable réservoir, parce qu'il doit sortir du foyer avec impétuosité, afin que le trou de la coulée ne puisse s'obstruer et que l'avant-creuset ne soit pas trop refroidi. Ce réservoir est terminé ordinairement du côté antérieur par une plaque de fonte percée d'une ouverture, qu'on peut fermer entièrement ou en partie avec une pelle revêtue d'une couche d'argile. Au moyen de cette disposition, on est maître de faire couler la fonte dans les moules avec plus ou moins de vitesse*.

Après avoir achevé le bassin et les rigoles, on se prépare à faire la *percée;* pour cet effet, on commence par enlever la terre avec une pelle, jusqu'à ce qu'on aperçoive la couleur du feu, à laquelle on reconnaît le trou de la coulée; ensuite on perce le *bouchage* à coups de ringard. Il est essentiel qu'on pratique l'ouverture au niveau de la *sole,* afin qu'il ne puisse pas rester de fonte dans

* Lorsque le fer cru est destiné pour l'affinage, les anglais le font couler dans des rigoles en fonte, pour s'épargner la peine de refaire les moules en sable deux fois par jour. Cette disposition me paraît d'autant mieux entendue que les gueuses coulées en sable, sont presque toujours souillées d'une grande quantité de sable adhérent, ce qui retarde l'affinage et augmente le déchet. Le T.

le fourneau. Le courant d'air doit être intercepté pendant ce travail et celui qui le suit immédiatement, parce qu'on ne coule jamais qu'après avoir nettoyé le creuset.

836. Le trou de la coulée est quelquefois si fortement obstrué par du fer et des laitiers durcis mêlés avec le bouchage, qu'on a beaucoup de peine à l'ouvrir. Quelquefois même ces matières résistent au ringard et aux coups de masse appliqués à l'extrémité de cette barre de fer. Dans ce cas, on est obligé de les couper avec une hache. Ce travail est à la fois pénible pour l'ouvrier et préjudiciable au fourneau : il endommage la sole et refroidit l'avant-creuset.

Il est donc essentiel que le trou de la coulée soit entretenu net et en bon état; que le fondeur enlève, avec le plus grand soin, le fer et les laitiers figés contre la *dame* et la *costière;* qu'il ne ferme jamais cette ouverture avec de l'argile ou du sable seulement, mais qu'il se serve pour cet effet de terre mêlée de fraisil. Mis en place avec négligence, le bouchage est entraîné souvent par la fonte, qui, lorsqu'elle est très-chaude, parvient à se frayer un passage et à se répandre dans l'usine.

Dès que le creuset est vide et qu'on a fini de reboucher le trou de la coulée, on doit fermer aussi l'avant-creuset, après l'avoir rempli de charbons incandescens tirés de l'intérieur du foyer, et après avoir donné quelques coups de ringard sous la tympe pour remédier au serrement des matières : il est nécessaire qu'on ferme le creuset avec soin.

837. Lorsque le fer cru est destiné à l'affinage, on coule la gueuse régulièrement toutes les 12, 18 ou 24 heures, selon la rapidité de la descente des charges, selon la capacité du creuset et la richesse du minérai. Mais on ne

peut rien statuer à cet égard, lorsque la fonte doit être convertie en fer coulé, parce qu'on dépend ordinairement du travail des mouleurs *. Cette manière irrégulière de procéder dérange la marche des petits fourneaux ; et comme beaucoup de moules ne peuvent être remplis avec de la fonte dirigée à l'aide des rigoles, on la puise dans l'avant-creuset avec des poches de fer couvertes d'argile **. Pour retenir alors la couche de laitier qui, se renouvelant toujours, viendrait recouvrir le bain, le fondeur fait avec les scories les plus liquides, un tampon cylindrique dont la longueur mesure l'écartement des deux costières et dont le diamètre est de 20 à 26 centim. Dès que ce tampon est refroidi, l'ouvrier le place sur la fonte, l'enfonce dans le bain et le pousse sous la tympe de manière que la communication de l'intérieur de l'ouvrage à l'avant-creuset, interrompue dans la partie supérieure, reste libre dans le bas et laisse un passage à la fonte, qui d'ailleurs tend à soulever le bouchon et le presse contre la tympe. Après avoir exécuté ces préparatifs, on nettoie la surface du bain et l'on commence à puiser le fer cru.

Il est évident qu'une partie de la fonte doit rester dans le creuset, parce qu'il est impossible de retenir les scories assez bien pour pouvoir l'épuiser jusqu'à la dernière goutte. Lorsqu'on a fini, on enlève le tampon, on retire, au moyen de ringards, le laitier visqueux qui s'est amoncelé dans l'ouvrage, on nettoie la tuyère, on remplit l'avant-creuset de charbons incandescens, on le ferme avec du fraisil et l'on remet les soufflets en mouvement.

---

* On oblige ces ouvriers de tenir leurs moules prêts à des heures déterminées. Le T.

** Les poches ou cuillers sont moitié en fer et moitié en argile ; chaque mouleur prépare la sienne avant la coulée, et la fait sécher sur le laitier. Le T.

Si le fourneau avait de grandes dimensions et que la matière liquide exerçât une très-forte pression contre l'avant-creuset, cette méthode de puiser la fonte présenterait des inconvéniens, parce qu'on serait obligé d'arrêter trop long-temps le mouvement des soufflets, ce qui pourrait occasionner des engorgemens, surtout si l'ouvrage s'était déjà élargi: on perdrait d'ailleurs une grande partie de métal qui serait mêlée avec les laitiers visqueux dont l'intérieur du creuset se remplit, et une autre partie qui ne serait qu'à demi-fondue.

838. Lorsque le travail du moulage le permet, on ne manque point de fixer l'heure de la coulée. Dans ce cas, le creuset se trouve à peu près rempli de fonte, quand on commence à puiser. La quantité de métal qu'il contient peut varier selon sa capacité, entre 600 et 3000 kil. On peut, sans danger, retenir la fonte long-temps dans les fourneaux à charbon de bois pour en rassembler une grande masse, parce que le vent n'a pas assez de force pour dépouiller le bain de la couche de scories qui le couvre, ce qui arriverait dans les fourneaux à coke activés toujours par de fortes machines soufflantes. Cependant il ne faut pas retarder l'heure de la coulée, jusqu'au moment où les scories menacent d'entrer dans la tuyère, si le vent est faible, ou jusqu'à ce qu'elles puissent être refroidies par le courant d'air, s'il est animé d'une grande vitesse.

On peut admettre, en général, que dans les fourneaux à coke la fonte ne doit jamais s'élever au-dessus des trois quarts de la hauteur totale du creuset, afin qu'elle ne soit pas refroidie par le vent ni chassée avec violence par-dessus la dame. D'un autre côté, on aurait tort de couler trop fréquemment et de ne laisser remplir le creuset qu'à moitié, puisque la fonte qu'il contient contribue à l'échauffer, à augmenter la liquidité du laitier, et que d'ail-

leurs elle favorise la descente des charges et la séparation des matières.

Quant au moment où se fait la première coulée après la mise en feu, il dépend ordinairement de la nature de la matière qui est dans le creuset. Si par suite d'une mauvaise dessication du fourneau, la fonte est épaisse, on doit craindre qu'elle ne se fige; et dans ce cas on la fait écouler, lors même que le creuset n'est rempli qu'à moitié, afin que celle qui descend plus tard ne participe pas au même refroidissement.

839. Conservée long-temps dans le creuset, la fonte s'épaissit, se décolore et augmente en ténacité, ce qui annonce un commencement dé décarburation; mais on doit craindre alors que dans les fourneaux à coke, le laitier, en vertu de sa viscosité, ne parvienne à engorger l'ouvrage. Refroidi par le vent, ce laitier n'est plus aussi propre à s'imprégner de fraisil et à favoriser la séparation du fer d'avec les substances étrangères: le fourneau paraît alors surchargé en minérai.

Dans l'Eiffel, on dirige à dessein le courant d'air sur le bain, lorsque le creuset est rempli, afin de préparer la fonte à l'affinage; tandis que pendant la fusion on donne au vent une direction ascensionnelle pour hâter la descente des charges. Nous parlerons plus tard de ce procédé, lorsqu'il sera question de ceux qu'on emploie pour blanchir la fonte.

DE L'ALLURE DES HAUTS FOURNEAUX.

840. Lorsqu'on veut obtenir de la fonte grise, il faut que la proportion de minérai reste toujours au-dessous du maximum que le charbon peut porter, afin que le fourneau ne soit point dérangé par quelque circonstance acciden-

telle, par des minérais humides, par des charbons légers, par l'effet de quelque négligence des ouvriers, par une plus ou moins grande quantité de fraisil contenue dans les cokes, par la chute de quelques pierres de l'ouvrage, etc.

Un fourneau qui a été refroidi et qu'on remet en bonne allure, ne peut donner tout de suite de la fonte grise, lors même que le laitier paraît déjà très-pur: il se passe quelquefois plusieurs jours avant que la température soit assez élevée pour opérer la conversion de la fonte blanche en fonte grise; tandis qu'un fourneau animé d'une chaleur intense, peut donner encore de la fonte grise plusieurs heures après l'apparition des différens signes qui indiquent une surcharge de minérai.

On obtient quelquefois de la fonte blanche aux premières coulées, malgré la grande proportion de charbon employé au commencement du fondage: les régions supérieures du fourneau manquent encore de chaleur et le minérai descendu dans le foyer, n'est pas assez préparé; on en obtient aussi lorsque la sole est refroidie, etc., etc., (758).

Pour traiter du minérai ocreux et friable, il faut réduire le fondant presqu'en poussière, employer de fortes charges, afin d'empêcher le minérai de traverser le combustible, et se servir de gros charbons pour prévenir la compression des matières.

841. La fonte blanche grenue qu'on obtient par un défaut de chaleur, sans que le laitier soit pesant et lorsque le charbon est en proportion convenable (760, 767), se distingue essentiellement de la fonte blanche produite par une surcharge de minérais, en ce que la première est bien plus tenace, et que dans le creuset elle est d'une liquidité moyenne. Cette fonte ne se présente presque jamais dans les hauts fourneaux à charbons de bois, à moins que le minérai ne soit très-réfractaire, l'ouvrage très-élargi, le vent

extrêmement fort, et l'allure du fourneau régulière. Mais les fourneaux à coke donnent souvent de la fonte blanche grenue par un vent trop fort, eu égard à la densité du combustible, lors même que l'ouvrage est très-rétréci; il arrive alors que la fusion se fait à une trop grande hauteur, que le courant d'air, qui est trop rapide, refroidit l'ouvrage, et que la température ne suit plus une progression croissante, depuis le point de la fusion jusqu'à la tuyère. Si, dans ce cas, le foyer se trouve élargi, on voit du minérai non réduit, descendre dans le creuset, ce qui peut produire des éboulemens. On corrige cette allure en employant des buses plus larges: moyen dangereux cependant, lorsque l'ouvrage est fortement dégradé: dans ce cas, on est presque toujours forcé de mettre hors. Du reste, une trop forte pression du vent se fait sentir plus tôt si l'ouvrage est étroit; mais on peut y remédier alors d'une manière avantageuse, en augmentant le diamètre des buses, ce qui augmente aussi la production journalière.

842. Des fourneaux à coke qui reçoivent un vent dont la vitesse est trop faible ou qui n'en reçoivent pas assez, par rapport aux dimensions de la cuve, donnent aussi de la fonte blanche grenue, quoique la réduction du minérai puisse être parfaite; dans ce cas, le vent ne peut s'élever à travers les matières, et la cuve reste trop froide. Si, en même temps, l'ouvrage est déjà large, la situation du fourneau devient dangereuse; parce que les matières descendent alors non fondues devant la tuyère, et qu'il en résulte des engorgemens dans le creuset, si l'on ne peut augmenter l'effet des machines soufflantes ni lancer le vent avec une plus grande vitesse dans le foyer. Pour les fourneaux qui ne sont pas encore très-dégradés, il suffit quelquefois de rétrécir la tuyère (non la buse), afin que l'air ne puisse pas se dilater si fortement en arrivant dans l'ouvrage.

843. L'expérience prouve que la fonte blanche grenue a manqué de chaleur pour se convertir en fonte grise; et ses propriétés font voir qu'elle a subi dans l'ouvrage une première décarburation due à l'action des scories et peut-être à celle du courant d'air. Cette décarburation doit être d'autant plus grande, que le point où s'effectue la fusion est plus élevé. En sorte que cette fonte peut devenir entièrement grenue et semblable à la fonte grise dont elle ne diffère alors que par un manque d'éclat. Cette fonte blanche grenue, renfermant une grande dose de silicium, ne convient pas pour l'affinage, lors même qu'elle provient d'excellents minérais, et elle ne peut servir pour la fabrication des objets moulés, parcequ'elle est pâteuse, qu'elle se congèle subitement et que refroidie, elle est trop fragile. Traitée dans les feux d'affinerie, elle passe trop promptement à l'état solide et subit un déchet considérable, lorsqu'on veut en obtenir du fer passable. Le seul moyen de l'utiliser, c'est de la refondre avec de la fonte grise dans les *fineries* pour la convertir en fer ductile, dans les fours pudlings.

844. La fonte blanche grenue provient donc d'un vent trop fort ou trop faible. Le fourneau qui la donne ne peut être remis en bonne allure par une diminution de la dose de minérai. Il faut connaître la cause qui l'a dérangé, augmenter ensuite ou diminuer la vitesse du veut et porter presque toujours dans le foyer un plus grand volume d'air, afin qu'en brûlant à la fois plus de charbon, on parvienne à élever la température.

On n'a pas assez observé jusqu'ici les hauts fourneaux, au moment où ils produisent cette espèce de fonte blanche. Elle est, comme la fonte grise, le résultat d'une séparation complète des matières effectuée à une assez grande hauteur au-dessus du jet d'air. Séjournant ensuite trop long-temps dans les scories, elle cède une partie de son carbone, et

reçoit en échange une forte dose de manganèse et de silicium : voilà ce qui lui donne une texture grenue et une couleur gris cendré. C'est en raison de sa texture et de sa couleur, que ce fer cru a été quelquefois confondu avec la fonte grise, quoiqu'il ne soit réellement qu'une fonte blanche dépouillée d'une partie de son carbone et surchargée de silicium : grillée, la fonte blanche ordinaire présente le même aspect.

La fonte blanche qu'on obtient dans les hauts fourneaux par une surcharge de minérais, se liquéfie soit devant la tuyère, soit même au-dessous du courant d'air : une partie de ce fer cru n'a pas eu le temps de se saturer de carbone, une autre est décarburée par *l'oxidule de fer* contenu dans les scories. Ainsi les circonstances qui ont présidé à la formation de ces deux fontes blanches diffèrent essentiellement, bien que ces fontes puissent contenir une même quantité de carbone, et présenter souvent le même aspect. Mais la fonte blanche obtenue par surcharge de minérais est infiniment plus pure que la fonte blanche grenue qu'on obtient par un juste dosage des matières ; l'une soumise peu de temps au contact d'un laitier riche en oxidule de fer, n'a pu être décarburée que par *ce dernier*, l'autre séjournant long-temps au milieu d'un laitier *très-pauvre* en oxidule de fer, a été décarburée *par la silice* et *par l'oxidule de manganèse*. Ce dernier fer cru contient toujours moins de carbone que la fonte blanche lamelleuse, et elle renferme cette substance à l'état de polycarbure.

Si le coke donne beaucoup de cendres et de fraisil, on obtient très-souvent de la fonte blanche grenue. Une surcharge de minérai, dangereuse alors, serait suivie d'un engorgement du creuset, à cause de la viscosité du laitier. Si d'ailleurs l'ouvrage est large, le vent faible et le coke compacte, une partie de ce dernier brûlera trop lente-

ment et dégagera peu de chaleur; de sorte que l'effet sera le même que si le fourneau était surchargé; des masses solides descendront dans le creuset. Lorsqu'au contraire la vitesse du vent est trop considérable, le combustible se trouve déplacé par le courant d'air, ce qui occasionne des éboulemens. Ainsi on peut obtenir à la fois les deux espèces de fontes blanches.

845. Les laitiers sont d'autant plus purs et la fonte est d'autant plus grise, que la chaleur est plus considérable et que le métal a été plus carburé avant d'entrer dans le foyer de la fusion. La séparation des matières est donc plus imparfaite, et la fonte est moins grise à mesure que les fourneaux, activés par de fortes machines soufflantes, sont plus petits et que les charges se succèdent avec plus de rapidité. Si la chaleur est faible, on perd une grande quantité de fer qui reste dans les scories, et la fonte devient blanche, suite nécessaire de cette allure.

846. La fonte blanche qu'on obtient dans les fourneaux à charbon de bois, ayant peu d'élévation, provient le plus souvent d'une surcharge de minérai. Il en résulte une plus grande consommation de matières, une fonte ni blanche argentine, ni grise, jointe à un laitier vif, corrosif, se refroidissant très-vite par le courant d'air et formant des engorgemens dans le creuset. On doit craindre de charger un minérai réfractaire en trop fortes doses, surtout lorsque l'ouvrage est étroit, et que le fourneau a une grande hauteur, parce qu'il peut en résulter des engorgemens dangereux. Dans le cas opposé, lorsque la charge est trop faible, la chaleur acquiert une trop grande intensité, l'ouvrage se dégrade et l'on consume une grande quantité de charbon, puisqu'on n'utilise pas tout l'effet qu'il peut produire : ajoutons que la fonte absorbe une grande quan-

tité de silicium, ce qui la rend très-mauvaise, à moins qu'elle ne soit destinée pour le moulage. De plus, le laitier et la fonte arrivant à l'état liquide dans l'ouvrage, s'attachent et se refroidissent en partie sur la tuyère. Une autre partie de fer se vitrifie, ne pouvant être protégée contre le courant d'air par le laitier qui est trop visqueux. Ce dernier se charge alors d'oxidule de fer, bouillonne devant la tuyère et présente l'aspect d'un laitier dû à une surcharge de minérais; il s'épaissit et devient gluant; des masses de scories durcies descendent de temps à autre dans le creuset; ces masses qui sont très-pauvres en fer se dissolvent difficilement et obstruent quelquefois la tuyère à tel point que le fourneau en est étouffé. Cette allure est d'autant plus dangereuse et exerce une influence d'autant plus nuisible sur le fer cru, que le mélange de minérais et de fondant est plus réfractaire.

847. Dans le travail des fourneaux à coke, on est obligé de tenir les charges de minérais un peu au-dessous de celles que le charbon pourrait porter, parce que dans ces sortes de foyer, il est toujours dangereux que la cuve et l'ouvrage éprouvent un refroidissement. On ne peut donc charger de manière que la fonte devienne blanche argentine et lamelleuse; il faut nécessairement qu'elle soit grise claire ou mêlée, afin que l'effet du charbon soit utilisé le mieux qu'il est possible : le laitier doit rester liquide et pur. Il est évident que nous parlons ici de la fonte de forge : pour obtenir de la fonte grise destinée à la fabrication des objets coulés, il faut diminuer la charge de minérai.

Ce n'est qu'en traitant un minérai très-fusible, qu'on peut donner au charbon le maximum de la charge. Mais lorsqu'on l'augmente jusqu'à rendre la fonte épaisse, on perd tout l'avantage qu'on veut obtenir, lors même qu'on opère au charbon de bois, parce qu'il reste une trop grande quantité de fer dans le laitier.

En général, pour activer les hauts fourneaux de la manière la plus lucrative, on doit toujours leur imprimer une allure telle qu'ils donnent de la fonte mêlée, qui d'un autre côté convient le mieux pour l'affinage, si toutefois les minérais et le fondant ont été employés en proportions convenables.

848. Des minérais très-fusibles, ou rendus tels par une trop forte addition de fondant, donnent de la fonte blanche, lorsque le vent est trop fort et que la proportion de charbon est très-grande, parce que la fonte, en vertu de sa liquidité, traverse l'ouvrage avec une trop grande vitesse. Le laitier, qui est alors chaud et corrosif comme celui qu'on obtient par une surcharge de minérai, contient beaucoup de fer, il se boursouffle et bouillonne devant la tuyère qui se couvre de fer demi-affiné. La réduction ne se fait donc que d'une manière imparfaite. Ce cas arrive sur-tout lorsque les minérais sont pauvres et faciles à fondre. Si, au contraire, les minérais fusibles étaient aussi très-riches, il ne se formerait pas assez de laitier, on perdrait une plus grande quantité de métal oxidé par le courant d'air, et il s'attacherait aux parois du creuset de plus fortes masses de fer demi-affiné. Dans ces deux cas, on doit abaisser le point où s'effectue la fusion, en diminuant le vent, ce qui fait diminuer aussi la température qui règne dans la cuve du fourneau. Une augmentation de minérai serait dangereuse, parce qu'elle pourrait favoriser les engorgemens.

Lorsque le minérai est réfactaire, ou lorsqu'il l'est devenu par une trop faible ou par une trop forte addition de fondant, on doit craindre, avant toutes choses, qu'il ne soit introduit en trop grande proportion dans le fourneau, parce qu'il occasionnerait des engorgemens qu'on ne détruirait qu'avec beaucoup de peine. Un dosage qui est

un peu au-dessous du maximum de minérai que le charbon peut porter, procure alors une fonte grise, impure ou riche en silicium et pauvre en carbone, un laitier visqueux et disposé à salir la tuyère; il faut par conséquent employer un vent assez fort pour le rendre plus liquide, en élevant le point de la fusion. Si l'on dispose d'une forte machine soufflante et qu'on veuille obtenir de la fonte grise pour le moulage, on fait bien de rendre le mélange de minérais et de fondant un peu difficile à fondre; mais il ne faut pas dépasser certaines bornes, parce que la consommation de charbon augmente, que les scories obscurcissent la tuyère et qu'enfin le fourneau peut se déranger par le moindre abaissemement de température. Mais on aurait grand tort de rendre le chargement réfractaire pour obtenir de la fonte grise, si ce fer cru était destiné pour l'affinage. Lorsque le fourneau est dérangé et qu'on le remet en chaleur, on obtient ordinairement la fonte blanche grenue avant la fonte grise; et lorsque le fourneau commence de se déranger, la fonte blanche grenue précède aussi la fonte blanche par surcharge.

849. Si par des minérais faciles à fondre, le laitier devient très-liquide et pourtant léger, les matières se sépareront facilement, et le fer dérobé très-vite à la plus haute température se présente alors à l'état de fonte blanche lamelleuse constituant un produit neutre. Ces minérais donnent rarement de la fonte blanche grenue; et la fonte parfaitement grise ne s'obtient par ces minérais qu'avec la plus grande peine.

Des charges réfractaires donnent toujours de la fonte chaude et très-grise, lorsque le fourneau est en bonne allure : elles ne produisent jamais de la fonte blanche lamelleuse; mais par une diminution de chaleur on obtient de la fonte blanche grenue, et par un dérangement du

fourneau, de la fonte blanche compacte due à une surcharge.

Si la cuve est privée du degré de chaleur nécessaire, soit par la compression des matières due à la rapidité de la pente des étalages, soit par l'humidité du minérai, soit par de nombreux repos de la machine soufflante, etc., etc., on obtiendra de la fonte blanche grenue et quelquefois aussi de la fonte blanche ordinaire, comme lorsqu'il y a surcharge de minérai. Si dans ce cas l'ouvrage n'est pas assez échauffé, l'allure du fourneau se dérange complètement; son état est d'autant plus dangereux que la proportion de charbon est plus faible.

Une trop haute température dans la cuve du fourneau, fait entrer une partie du fer en vitrification et produit un déchet qui va croissant avec la richesse du minérai.

DES SIGNES AUXQUELS ON RECONNAIT L'ALLURE DU FOURNEAU.

850. La connaissance exacte *des signes* d'après lesquels on juge de la situation d'un fourneau, est de la plus haute importance; car c'est à l'aide de ces signes qu'on prévient les accidens et qu'on règle la marche du travail.

Si la *flamme du gueulard* est faible, le vent retenu dans l'ouvrage ne peut s'élever avec assez de vitesse à travers les matières, la cuve reste froide et les minérais ne sont pas suffisamment préparés à la fusion. On peut en attribuer la cause soit à la rapidité de la pente des étalages, soit à la qualité du charbon, lorsqu'il est trop menu, soit à la nature du minérai lorsqu'il se comprime trop fortement, soit enfin à la faiblesse du courant d'air. Si dans ce cas, le vent a la vitesse qui convient à la densité du combustible, on doit augmenter la masse d'air en employant des buses plus larges.

Lorsque la flamme du gueulard se porte vers un côté,

on peut en conclure que la cuve est engorgée ou que les étalages sont inégalement inclinés, ce qui occasionne des descentes obliques et des éboulemens. Il faut que la flamme sorte du gueulard avec une certaine vivacité, en faisant entendre un léger bruissement; si elle s'élève avec lenteur, les charbons se consument sans développer beaucoup de chaleur.

Une flamme sombre ou pâle, quand on traite des minérais contenant du zinc, accompagnée d'une fumée visible, indique un manque de chaleur et une surcharge de minérai. Une flamme claire et vive annonce un degré de température convenable. Un fourneau alimenté avec des minérais renfermant du zinc, dégage une plus grande quantité de vapeurs quand il est surchargé que lorsqu'il se trouve pénétré d'un plus haut degré de chaleur; parce que ces vapeurs sont moins dilatées, et par la même raison, elles se déposent en plus grande quantité dans la partie supérieure de la cuve.

On est obligé d'enlever la cadmie de temps à autre, parce qu'elle rétrécit la cuve, qu'elle gêne le passage du vent, qu'elle occasionne un déplacement du charbon et souvent aussi des descentes obliques, lorsque le dépôt se trouve sur un côté de la cuve; le minérai répandu alors sur des surfaces inclinées descend le premier en vertu de sa pesanteur spécifique, ce qui produit des éboulemens.

En détachant la cadmie, il faut avoir soin de la faire sortir par le gueulard. Des morceaux qui tomberaient dans la cuve, absorberaient une grande quantité de calorique pour se volatiliser de nouveau, ou bien ils se présenteraient quelquefois en masses dans l'ouvrage, feraient bouillonner les scories et pourraient occasionner des engorgemens.

La poussière qui sort du fourneau et qui tombe sur la plate-forme du gueulard, indique aussi par sa plus ou moins grande abondance, le degré de force avec lequel le

vent s'élève à travers les matières. Il s'ensuit que lorsque le courant d'air est rapide, on ne doit pas employer un minerai friable à l'état de siccité, parce qu'on en perdrait la partie la plus fusible. On ne peut d'ailleurs traiter cette poussière dans les fourneaux; fondue seule, elle paraît très-réfractaire, parce qu'elle empêche la circulation de l'air, et, mêlée de fondans, elle devient trop pauvre.

851. Un autre signe auquel on reconnaît l'allure du fourneau, c'est *la flamme de la tympe:* lorsqu'elle est très-forte, d'une couleur bleuâtre et accompagnée de vapeurs, le minérai se trouve chargé en forte dose, ou bien la chaleur se concentre dans l'ouvrage sans pouvoir s'élever. On ne peut avoir aucun doute sur le refroidissement de la cuve, si, en traitant des minérais mêlés de zinc, la flamme ressemble à celle que dégage ce métal. Lorsque l'allure du fourneau est régulière, on n'aperçoit point de flamme devant la tympe, parce que tout le vent s'élève dans la cuve. Quand on échauffe l'avant-creuset, en y laissant passer la flamme, on ne doit apercevoir aucune trace de fumée, et il ne doit se déposer sur la plaque de la tympe qu'une matière légère et blanchâtre, si toute fois on veut obtenir de la fonte très-grise.

852. L'aspect *de la tuyère* et celui *du laitier* offrent au fondeur les signes les plus certains auxquels il reconnaît la marche du fourneau. Sa température est très-élevée, lorsque la tuyère paraît claire et tellement brillante, qu'au premier abord on ne puisse distinguer les matières qui sont dans l'intérieur du foyer. Si la tuyère est très-claire et que cependant il s'y attache des masses durcies qu'on soit obligé d'enlever de temps à autre, afin qu'elle ne puisse pas s'obstruer, il ne reste point de doute que les minérais ne soient difficiles à fondre; il faut donc aug-

menter le vent ou charger un mélange de minérais et de fondans qui soit plus fusible. Dans ce cas, le laitier se trouve plus visqueux qu'il ne devrait l'être.

Si la tuyère cesse d'être claire et brillante, si elle paraît rougeâtre, et si l'on distingue au premier coup-d'œil les matières contenues dans le foyer, le fourneau est surchargé de minérai. Le laitier devient avide et corrosif, bouillonne devant la tuyère, la salit et l'obstrue continuellement, malgré tous les soins qu'on prend pour la déboucher. Ce laitier, qui est très-liquide au moment où il sort du foyer, a peu de chaleur, se durcit promptement, se fige même en partie dans le creuset, et finit par arrêter la descente des matières; la fonte se refroidit alors et forme des masses de fer demi-affiné, dont il faut se débarrasser à force de travail dans l'ouvrage.

On se hâte dans ces circonstances de diminuer la charge de minérai pour réchauffer le fourneau : ce n'est que dans le cas où l'ouvrage est encore très-étroit et que le charbon est léger, qu'on peut aussi diminuer la vîtesse du courant d'air; mais si le charbon est compacte, on ne doit pas la changer, puisqu'on abaisserait encore la température.

Il peut arriver aussi que les scories bouillonnent, parce qu'elles sont amoncelées en trop grande quantité dans le creuset; il est facile alors d'y remédier. Si le bouillonnement est une suite de la fusibilité des minérais, la tuyère se salit encore et se recouvre d'un nez, mais elle reste assez brillante, et les engorgemens ne sont pas à craindre, puisque la température du fourneau est assez élevée. Il faut dans ce cas enlever le nez à mesure qu'il se forme, nettoyer l'ouvrage, et, si l'on veut obtenir de la fonte grise, ralentir le mouvement des machines soufflantes et rendre le mélange de minérais et de fondant plus réfractaire. Quoique le laitier soit alors court, qu'il se rompe et se refroidisse très-facilement, il est cependant

moins nuisible à la régularité du travail, et il ne s'oppose pas aussi fortement à la descente des charges, que le laitier qui résulte d'une surcharge de minérai.

Si la tuyère manque de clarté, si elle est sombre et salie de temps à autre par un laitier très-visqueux, sans que le fourneau soit du reste dérangé, on ne peut l'attribuer qu'à des fragmens de minérai mal grillé ou mal bocardé, ou bien au fondant chargé en trop gros morceaux. Si la tuyère est un peu sombre et que le laitier présente tous les signes d'une réduction complète des minérais, la température de la cuve est trop basse. Il faut alors se servir de buses plus larges pour augmenter la masse d'air lancée dans le fourneau; ou bien conserver les mêmes buses et accélérer le mouvement des machines soufflantes. Le premier moyen doit s'employer, lorsque la vitesse du vent est déjà proportionnée à la densité du combustible; on se sert du deuxième, lorsque la pression de l'air est trop faible. Dans ce cas, le laitier paraît souvent très-chaud, parce que toute la chaleur est concentrée dans l'ouvrage; mais la fonte qui est d'abord blanche grenue, se rapproche de plus en plus de la fonte blanche due à une surcharge de minérai.

Si le laitier est très-pur, la fonte très-grise, la température très-élevée, et que malgré les soins de l'ouvrier, il se forme un nez fort devant la tuyère, on doit ralentir le mouvement des soufflets et travailler à force dans le foyer, parce que le fourneau, menacé d'un engorgement du creuset, se trouve dans une situation dangereuse : le laitier est alors très-visqueux, la fonte ne pouvant plus le traverser, s'affine par l'action du courant d'air, et encombre l'ouvrage à tel point que souvent on est forcé de mettre hors.

853. Nous devons faire observer comme règle générale, qu'on doit diminuer d'un quart ou d'un tiers la dose de

minérai, quand on est obligé de travailler souvent dans le creuset, lors même que le fourneau a été dérangé par un excès de chaleur. Ces sortes d'opérations le refroidissent considérablement, parce qu'on est obligé d'arrêter les machines soufflantes et de tenir l'avant-creuset ouvert. Il faut donc le réchauffer d'abord et augmenter ensuite la charge avec beaucoup de ménagement.

Lorsqu'on s'aperçoit que l'ouvrage s'élargit et que le charbon ne peut plus porter autant de minérai qu'au commencement de la campagne, on doit en diminuer la dose avant que le fourneau ne se trouve surchargé, afin de ne pas le refroidir et de ne pas occasionner des engorgemens.

Le durcissement des matières et la voûte ou le nez qui recouvre la tuyère, ne sont donc pas toujours le résultat d'un échauffement du fourneau; ils peuvent aussi provenir d'une surcharge de minérai. Il s'ensuit toujours une décarburation de la fonte qui s'affine et se fige au-dessus de ce tube.

Il est probable que dans l'un et dans l'autre cas, le laitier refroidi par le vent, forme vis-à-vis et au-dessus de la tuyère, des espaces creux qui entravent la réduction et la carburation du métal et qui les rendent incomplètes, s'il y a surcharge de minérai; si au contraire le fourneau est très-échauffé, la fonte formée déjà éprouve une décarburation par l'effet du vent qui ne peut s'élever. Ce n'est que dans le cas où la voûte provient d'un mélange très-fusible de fondans et de minérais, qu'il n'y a point de danger; pourvu, toutefois, que l'ouvrage ne soit pas trop large, qu'on puisse le réchauffer, qu'on apporte les corrections voulues et qu'on empêche les scories de se figer dans le creuset.

Il est très-difficile de se débarrasser du fer demi-affiné et de le détacher, à coups de ringard, des environs de

la tuyère. Ce travail qui est pénible, refroidit le fourneau; mais on ne peut s'en dispenser, parce qu'il se formerait toujours un plus grand nombre de voûtes qui finiraient par obstruer l'ouvrage en entier.

Pour empêcher qu'une tuyère nouvelle ne se fonde, on tâche de la couvrir de fer demi-affiné; pour cet effet, on la refroidit le plus possible, lorsque le fourneau est assez échauffé.

854. *La couleur du laitier*, varie avec les minérais; elle ne pent donner de renseignemens positifs sur la situation du fourneau; cependant le bleu et le vert se rencontrent le plus fréquemment. Les minérais plombifères fondus avec du coke donnent des laiters jaunes, et avec du charbon de bois, des laitiers gris-clairs. Ces couleurs nuancées d'une manière infinie, sont d'autant plus claires que le fourneau est plus échauffé, deviennent plus sombres à mesure que la chaleur diminue, et passent au noir lorsqu'il y a dérangement complet par surcharge de minérai : elles servent donc à faire connaître la marche du travail.

Un laitier de différentes couleurs annonce une allure un peu irrégulière, ou bien un mélange imparfait de minérais et de fondant. Il faut donc recourir à l'observation des autres signes, et voir surtout si des pierres tombées dans le creuset font craindre un engorgement, ou bien si le fondant est mal bocardé.

Du laitier obtenu à une très-haute température, se boursouffle, étant arrosé d'eau, et se présente alors sous la forme d'une substance blanche caverneuse, semblable à la pierre ponce. Frappé par l'haleine, il fait entendre un léger craquement et dégage du gaz hydrogène sulfuré ou phosphuré. Les laitiers des fourneaux à coke ne présentent cet aspect que dans le cas où le mélange de minérais et de fondans est très-fusible.

Le laitier d'un fourneau à charbon de bois est presque toujours à l'état vitreux, à moins qu'il n'ait été soumis à une chaleur trop forte ou trop faible. Tant qu'il reste bien vitrifié, on ne doit craindre ni le trop grand échauffement ni un refroidissement du fourneau; l'intensité de sa couleur donne alors un renseignement sur la proportion de minérais et de charbon employée, ou sur la fusibilité du mélange des matières. Mais lorsque le laitier se rembrunit, que son éclat vitreux disparaît, qu'il prend un éclat faible, qu'il devient caverneux et terreux, on peut être certain que le point où s'effectue la fusion est descendu très-bas et que le fourneau se dérange entièrement. Il faut donc travailler à force dans l'ouvrage et charger le minérai en plus faible dose, pour élever la température. On introduit quelquefois par la tuyère, dans l'ouvrage, du spath fluor ou du cuivre, pour former un laitier chaud qui puisse dissoudre les masses agglutinées et demi-fondues; mais on ne doit recourir à ce moyen qu'à la dernière extrémité. Les laitiers corrosifs qui en résultent, attaquent les pierres du creuset et occasionnent de fortes dégradations; ils ne peuvent d'ailleurs dissoudre les matières figées au-dessus de la tuyère, et celles qui se trouvent au-dessous peuvent être détachées facilement à coups de ringard.

Si les matières agglutinées ont fermé l'ouvrage de manière à ne plus laisser de passage à l'air, on est obligé de *mettre hors*. Quelquefois on essaie d'enlever la tympe pour faire sortir les *massaux;* si l'on réussit, on place une nouvelle tympe et l'on recommence le fondage; mais le succès de cette opération devient très-incertain quand l'engorgement est avancé et que le fourneau a de grandes dimensions, ce qui augmente le danger des éboulemens *. Lors-

* On peut aussi sauver le fourneau en y pratiquant une ouverture au-dessus de la tuyère ou au-dessus des masses agglutinées qui occasionnent

que l'ouvrage n'est pas très-élargi, cet accident ne peut arriver sans la plus grande négligence de la part des ouvriers, parce qu'on est toujours à même de le prévenir, en diminuant la dose de minérai.

855. Si le laitier, quoique peu coloré, n'est ni vitreux ni lithoïde, qu'il ait l'air terreux, demi-fondu et très-caverneux ou boursoufflé, le fourneau manque de chaleur sans être dérangé, et la séparation des matières est incomplète. Si en même temps la fonte est blanche et grenue, il faut augmenter le courant d'air, pour élever le point où s'effectue la fusion, et pour échauffer davantage la partie supérieure de la cuve, afin que les minérais soient mieux préparés en arrivant dans l'ouvrage. Cette espèce d'allure a lieu plus fréquemment lorsque le foyer se trouve élargi, qu'au commencement de la campagne.

Un laitier peu coloré et d'un aspect *lithoïde*, annonce une très-haute température*; on doit donc augmenter la charge de minérai, pour ménager les parois de la cuve et pour empêcher que par un excès de chaleur, il ne se produise des scories épaisses. Cependant il ne faut procéder à cette augmentation que dans le cas où la fonte soit parfaitement grise.

856. Les laitiers des fourneaux à coke ont rarement le

---

l'engorgement, et en donnant le vent par cette ouverture, jusqu'à ce que toutes ces matières soient mises en fusion. Cette opération peut présenter quelques difficultés, mais elle n'est pas impraticable, surtout pour les fourneaux de petites dimensions. Le T.

* On verra plus tard que le laitier peut devenir ou lithoïde ou vitreux, selon la durée du refroidissement, qui souvent est modifiée par des circonstances très-insignifiantes : cependant les laitiers les plus purs ou les moins chargés de fer, sont ceux qui se refroidissent le plus lentement, toutes choses égales d'ailleurs, et sont parconséquent les plus disposés à prendre la forme pierreuse. Le T.

degré de transparence de ceux des fourneaux à charbon de bois : ils ne sont transparens que dans le cas où le mélange de minérais et de fondant est très-fusible, et que la chaleur qui règne dans le fourneau n'est pas trop intense. Si la température s'élève, le laitier devient opaque, ayant un éclat vitreux parfait et une cassure conchoïde. Ces laitiers peuvent être fortement colorés en bleu sans que la séparation des matières soit incomplète. C'est dans le cas seulement où leur couleur passe au *brun* qu'il y a surcharge de minérai. A mesure qu'elle se rembrunit, l'éclat vitreux va en diminuant et la surface des laitiers devient moins lisse; enfin lorsqu'ils sont épais et caverneux, après le refroidissement, que leur couleur passe au noir, le fourneau est en danger.

Un laitier vitreux, et dont le noyau est lithoïde, annonce une température assez forte; mais si toute la cassure est pierreuse et que la fonte soit grise, on doit augmenter la dose de minérai avec précaution.

Le laitier *porcelanisé*, qui ressemble au verre de Réaumur, qui n'est ni vitreux ni lithoïde, peut accompagner la fonte grise; mais il prouve que la séparation des matières est imparfaite par défaut de chaleur.

857. Le laitier qui provient d'un mélange de matières difficiles à fondre, se présente dans un état de vitrification imparfaite; il peut avoir une couleur claire, mais il est caverneux, présente de nombreuses soufflures, et sa cassure ressemble à celle de la porcelaine.

La consistance du laitier, pendant qu'il est dans le foyer et au moment qu'il sort du fourneau, doit être soigneusement observée. Un laitier très-liquide, qui se refroidit promptement sans se boursouffler et qui présente une couleur claire, annonce une séparation complète des matières et une marche régulière; il est de plus la preuve

d'un mélange de minérais et de fondans très-fusibles. La fonte est dans ce cas blanche lamelleuse ou grise; mais cette fonte grise est très-disposée à blanchir par un refroidissement subit, ou bien à expulser une grande quantité de graphite par une lente congélation. Si au contraire ce laitier liquide et se refroidissant promptement, offrait une couleur brune ou noire, il indiquerait une surcharge de minérai et un vent trop rapide. Ce minérai arrive alors trop promptement dans la région du fourneau où règne la plus forte chaleur et donne de la fonte blanche.

Si le laitier devient trop visqueux, les matières manquent de fusibilité ou la chaleur n'est pas assez intense pour en opérer la liquéfaction. Le même effet peut avoir lieu lorsque la température du fourneau est trop élevée; dans ce cas, les scories ne contenant point d'oxide de fer, ont la consistance d'une pâte épaisse et tenace, sont très-réfractaires et se refroidissent aussi très-promptement, lorsqu'elles sont exposées à l'action du courant d'air. Il faut donc approfondir la cause de la viscosité de ces laitiers qui ne s'écoulent pas et qui s'attachent si fortement aux outils.

858. Lorsque le degré de chaleur du fourneau est tel qu'il suffise exactement pour la conversion de la fonte blanche en fonte grise, le laitier doit avoir la consistance d'une pâte un peu liquide, de manière qu'il puisse s'écouler lentement et sans se rompre, qu'il ait assez de cohérence pour se tirer en fil, et assez de liquidité pour remplir des moules. Plus liquide, il écume, bouillonne devant la tuyère et ne peut défendre le fer contre l'action du courant d'air; plus visqueux, il se durcit dans le creuset, empêche la descente des charges et occasionne des engorgemens. Le laitier qui provient d'un mélange de minérais et de fondant trop fusible, présente les mêmes inconvé-

niens, parce qu'il se refroidit très-vite, malgré sa liquidité, et qu'il est aussi très-disposé à engorger l'ouvrage.

Il faut donc que le fondeur porte beaucoup d'attention à l'état des laitiers qui sont dans le creuset et qu'il tâche de lui conserver toujours le degré de consistance voulu. Lorsqu'il les hale trop souvent (814), il finit par les épaissir et par refroidir le foyer, et s'il en retarde la sortie, ils deviennent trop liquides et peuvent produire ensuite des engorgemens.

859. Au commencement de la campagne, quand l'ouvrage est encore assez étroit pour que le vent puisse chasser les laitiers dans l'avant-creuset, il n'est pas nécessaire de les haler; il suffit qu'une heure avant de travailler dans l'ouvrage, on charge l'avant-creuset de poids, après l'avoir rempli de fraisil et de terre damée, afin que le laitier retenu plus long-temps, devienne plus liquide et dissolve les matières durcies. Quelquefois on place aussi des poids dans l'avant-creuset, lorsque le laitier se gonfle et qu'il menace de passer sur la dame, ce qui peut arriver par suite d'une trop forte pression de la colonne des matières ou d'un engorgement de l'ouvrage.

Si le foyer s'est élargi de manière que le vent n'ait plus le degré de force nécessaire pour déplacer le laitier, on le fait sortir avec des ringards. Ce laitier de halage ressemble toujours au laitier obteuu par une trop forte proportion de minérai, lors même que celui qui s'écoule librement sur la dame est d'une pureté parfaite.

On est souvent obligé, quand il existe une grande quantité de fraisil dans le foyer, de sonder la partie postérieure de l'ouvrage, immédiatement après la coulée, et d'enlever les matières durcies avec le plus grand soin. Un laitier qui refuse de s'écouler, indique un engorgement du côté de la rustine; il faut donc le haler le plus

tôt possible, parce qu'il se figerait devant la tuyère. Il est très-avide et présente une couleur rouge, à cause de la grande quantité de fraisil dont il est chargé.

Quelque soin que l'on prenne pour retenir le laitier dans le creuset, on doit craindre qu'il ne se porte et ne s'amoncelle du côté de la rustine, et que ce ne soit à la fin le métal qui s'écoule au lieu des scories. Dans ce cas, l'avant-foyer se dessèche; il faut donc y ramener les laitiers. Après avoir introduit le ringard dans l'ouvrage, on doit le retirer avec lenteur, en le tournant continuellement; le laitier arrive alors à grands flots et bouillonne dans l'avant-creuset, ce qu'on doit cependant empêcher, en y jetant du fraisil mêlé de terre. En général, lorsque le fourneau n'est pas trop échauffé, et que le laitier, sans y être retenu par un moyen forcé, refuse de s'écouler, on doit le haler, fermer l'avant-creuset, donner un vent plus fort, pour augmenter la liquidité des matières et nettoyer l'ouvrage avec les plus grands soins.

860. Un laitier trop visqueux qui s'amoncelle du côté de la rustine, parce qu'il ne peut pas être retiré entièrement, lorsqu'on travaille dans l'ouvrage, s'écoule et se mêle avec la fonte, ce qui est surtout fâcheux dans la fabrication des objets moulés. Un inconvénient plus grave encore, c'est que ce laitier ne peut absorber le fraisil qui, tombant alors sur la sole, encombre et refroidit le creuset.

Si par la compression des matières ou par une trop forte pente des étalages, le vent ne peut s'élever, la flamme s'échappe sous la tympe et ne peut être retenue qu'avec beaucoup de peine. Dans ce cas on jette de l'argile sur la couche de scories qui est dans l'avant-creuset, et l'on dame cette terre pour opposer une résistance suffisante au courant d'air.

Un laitier pur et liquide paraît augmenter la tempé-

rature du fourneau, accélère la descente du métal, facilite la fusion des minérais qui sont encore à l'état solide, en arrivant devant la tuyère, empêche le contact immédiat du fer avec le coke, et s'imbibe de fraisil sans se durcir. Il ne faut donc pas haler le laitier tant qu'il est assez liquide pour s'écouler librement sur la dame.

861. *La descente des charges* offre aussi un signe auquel on reconnaît l'allure du fourneau. Si les charges descendent uniformément, si dans des temps égaux on en introduit le même nombre dans le gueulard, le fourneau suit une marche régulière, et il n'existe point d'engorgement ni dans la cuve ni dans l'ouvrage. Mais lorsque les descentes sont rapides, après avoir été lentes; ou bien lorsque les charges tombent tout d'un coup, après avoir été arrêtées, on doit craindre les engorgemens; il est alors nécessaire de bien surveiller le fourneau pour remédier au mal aussitôt qu'il sera connu.

Cette inégalité des descentes fait varier la quantité de fer que les minérais produisent. On obtient au commencement plus de fonte, mais elle est toujours blanche; ensuite le produit diminue, parce qu'il se forme des voûtes dans l'intérieur du fourneau (853); bientôt on voit paraître les signes ordinaires qui annoncent une surcharge de minérai : la flamme du gueulard devient faible, la tuyère s'obscurcit, et il sort une épaisse fumée de l'avant-creuset.

Si les chutes de minérais se répètent plusieurs fois, on doit aussitôt diminuer la charge, afin de soutenir la température au même degré; parce qu'on sera forcé bientôt de travailler dans l'ouvrage, pour détacher et enlever les matières durcies qui s'y forment. Le fourneau se refroidit alors et ne peut plus recevoir la même dose de minérai. Dans ce cas, on diffère la coulée jusqu'à ce que la fonte menace de se figer dans le creuset.

862. Si, après qu'on a travaillé dans l'ouvrage, le laitier bouillonne encore devant la tuyère, et que celle-ci continue à rester sombre, le fourneau se trouve dans une situation des plus dangereuses; il peut arriver alors que le laitier, au lieu de s'abaisser, monte avec la fonte dans la tuyère, parce que le creuset encombré de fraisil fortement comprimé, n'a plus assez de capacité ni assez de chaleur pour recevoir les matières et les conserver à l'état liquide. On doit dans ce cas, ne faire écouler la fonte que le plus tard possible, d'autant plus que les charbons empâtés de scories brûlent difficilement. On ne peut donc faire autre chose que de fermer l'avant-creuset solidement avec de la terre, pour rendre le laitier plus liquide et pour le disposer à descendre. Le mouvement des machines soufflantes ne doit pas changer de vitesse.

863. Les engorgemens du creuset ne proviennent pas toujours des chutes de matières; mais ces dernières sont toujours suivies d'engorgemens, parce que les couches prennent une direction inclinée, de sorte que les minérais, en vertu de leur plus grande pesanteur spécifique, déplacent les charbons et les poussent vers un des côtés de la cuve. Au reste, quelle que soit la cause des engorgemens, elle n'influe en rien sur la manière dont on doit conduire le fourneau pour le remettre en bon état.

Si le produit est ou trop faible ou trop fort, eu égard au nombre des charges, on doit s'attendre à des accidens: quelle que soit l'allure du fourneau, il se manifestera bientôt des signes de dérangement. Si la fonte n'était pas grise, les suites de l'engorgement, sur-tout s'il était accompagné de descentes obliques, n'en seraient que plus dangereuses.

Voici quelles sont les causes ordinaires de ces obstructions de l'ouvrage, qui s'annoncent presque toujours par des chutes ou des descentes irrégulières:

1° Des minérais humides et friables souillés d'argile. Si le foyer se trouve déjà élargi par la suite du fondage et si la cuve est refroidie par l'humidité des minérais, ces derniers arrivent dans l'ouvrage en masses solides mêlées d'argile et de fraisil, et occasionnent des engorgemens augmentés ensuite par le vent, qui refroidit le laitier et le rend de plus en plus épais. La meilleure correction que l'on puisse apporter à ces accidens, c'est de diminuer la dose de minérai, d'employer un vent fort et de travailler dans le creuset avec la plus grande célérité.

2° Du coke impur, donnant beaucoup de fraisil, qui, en se mêlant avec le laitier provenant de minérais réfractaires, produit des massaux dans le creuset. Il arrive quelquefois que toutes les matières sont tellement enveloppées de fraisil, que leur séparation devient impossible et qu'il ne se forme que des masses agglutinées, qu'on est obligé de faire sortir du foyer.

3° Un ouvrage trop large que le vent ne peut traverser avec le degré de force convenable.

4° Un vent trop fort et un foyer trop large. Le courant d'air déplace alors le charbon, le consume trop rapidement du côté de la tuyère et produit des descentes obliques, suivies toujours d'une réduction imparfaite, et de laitiers chargés de fer, disposés à se figer dans l'intérieur du foyer.

5° De trop petites charges de charbon. Le minérai les traverse, et il en résulte des éboulemens.

6° Un vent irrégulier, de fréquens repos de la machine soufflante, ce qui fait varier le point où s'effectue la fusion. Si l'on augmente le courant d'air trop brusquement, on peut occasionner des éboulemens dans un ouvrage élargi, et dans un ouvrage étroit on fait entrer en liquéfaction les masses agglutinées qui sont déjà formées. Si l'on diminue le vent, la température s'abaisse et une partie des matières liquides se fige, ce qui peut aussi causer des engorgemens.

Les repos de la machine soufflante, lorsqu'on la répare, sont très-préjudiciables, parce que les minérais demi-fondus qui se trouvent dans la partie supérieure des étalages, se durcissent et font ralentir, du moins pour quelque temps, la descente des charges, lors même qu'ils ne produisent point d'éboulemens.

7° Des étalages dont la pente est trop douce. Les matières demi-fondues ont alors trop de facilité à s'y attacher et à produire des agglomérations qui sont toujours suivies de chutes, surtout lorsque les cokes donnent beaucoup de fraisil.

8° Des étalages inégalement inclinés. Les matières éprouvent alors une compression inégale, elles sont resserrées davantage à l'endroit où la pente est plus roide, et le vent se cherche un passage du côté opposé où la résistance est moins forte, ce qui produit des descentes obliques. Cette cause de dérangement et celle que nous avons signalée n° 7, proviennent donc de la construction du fourneau.

9° Des pierres demi-fondues qui restent attachées aux parois de la cuve, des étalages, ou de l'ouvrage. Elles font d'abord courber les lits des matières et occasionnent ensuite des descentes obliques. Il serait bon que ces pierres pussent tomber tout de suite; on les retirerait du creuset: cependant lorsque plusieurs se succèdent, elles peuvent engorger l'ouvrage au point qu'on soit obligé de mettre hors.

10° La destruction d'une partie de la cuve, des étalages et de l'ouvrage. Les charges, forcées alors de s'étendre inégalement, finissent par s'incliner à l'horizon; le même inconvénient a lieu, si l'axe de l'ouvrage ne se confond pas exactement avec celui de la cuve. Dans ce cas, la compression des matières ne peut plus être uniforme, le vent se cherche un passage à l'endroit où il trouve le moins de résistance, et les charbons sont consumés plus vite d'un côté que de l'autre, ce qui occasionne des descentes obliques.

11° Enfin le peu de chaleur de la cuve et de l'ouvrage, par suite d'un refroidissement antérieur. Ce n'est donc que la répétition du même mal; un dérangement est suivi d'un autre, et le fourneau ne peut reprendre le degré de chaleur voulu, si les charges qui se présentent plus tard dans le foyer, ne sont pas plus légères en minérais.

On ne peut apporter de remède radical aux engorgemens dont la cause est inhérente à la construction de la cuve. On fait donc bien de cesser le fondage et de reconstruire le fourneau.

864. *La nature de la fonte* présente aussi un moyen de reconnaître l'allure du fourneau; mais, pour mieux juger de sa situation et savoir quelles corrections elle nécessite, on doit réunir toutes les indications fournies par la flamme du gueulard, par celle du creuset, par l'aspect de la tuyère, par la nature du laitier, et celle du fer cru.

La fonte grise obtenue à une haute température, coule tranquillement, en sortant du foyer; elle est d'une couleur très-blanche sans être nuancée de jaune, et d'une liquidité parfaite qu'elle conserve très-long-temps. Après le refroidissement, ses arêtes sont vives, sa surface est plane. Si le minérai est fusible, elle dégage beaucoup de graphite, et devient entièrement blanche par un refroidissement subit. Si la fonte a été obtenue avec un mélange de minérai et de fondant réfractaire, elle a une couleur très-grise, montre beaucoup d'éclat, n'expulse pas une grande quantité de graphite, et ne blanchit guère par un refroidissement subit. Convertie en objet très-minces, elle montre encore une couleur grise dans sa cassure, remplit les moules parfaitement, présente en coulant une surface homogène d'un éclat faible et non métallique.

A mesure que la chaleur du fourneau diminue, la

couleur de la fonte liquide passe du blanc au rougeâtre; son éclat, au moment où elle s'écoule, devient plus brillant. Sa surface présente de grandes taches mattes, qui sont d'autant plus considérables que la fonte se rapproche davantage de la grise. La fonte mêlée coule encore tranquillement sans lancer d'étincelles, mais elle se refroidit assez promptement et présente alors une surface tantôt plane, tantôt concave; elle commence à se couvrir de soufflures.

La fonte blanche obtenue par surcharge, est extrêmement vive en sortant du foyer, jette beaucoup d'étincelles et paraît surpasser la fonte grise en liquidité; mais elle devient bientôt épaisse: elle montre en coulant un reflet rouge, brille de l'écat métallique, se refroidit promptement et présente ensuite des arêtes arrondies et une surface concave; elle adhère bien plus fortement au ringard que la fonte grise: cette seule différence servirait à les distinguer l'une de l'autre*.

Le fer cru qui contient du soufre, se reconnaît à la coulée par son odeur. Cette fonte disposée souvent à prendre une couleur jaunâtre, étant liquide, doit toujours être très-grise et le mélange de minérais et de fondant ne doit pas être réfractaire. La fonte sulfureuse grise se dilate moins que la blanche, en se figeant. Au reste, elle est toujours moins liquide que la fonte ordinaire, jette beaucoup d'étincelles et se refroidit promptement.

Le fer cru que donnent les minérais phosphoreux ressemble en tout point à la bonne fonte, lorsqu'il est liquide et pendant le refroidissement; mais il prend un retrait plus considérable.

---

* Lorsque la surcharge de minérais est très-forte, les arêtes de la gueuse sont tellement arrondies que sa surface, quand elle n'est pas large, paraît convexe. C'est l'aspect qu'elle présente le plus souvent. Le T.

865. La fonte des fourneaux alimentés avec du coke, doit être obtenue avec un mélange de minérais et de fondant très-fusible, si toutefois elle est destinée pour la forge, ainsi que par un degré de chaleur élevé, à cause de la grande quantité de cendres et de soufre même contenue encore dans le combustible. Le soufre et le silicium qui entrent toujours dans sa composition, la disposent à se figer et à s'oxider plus vîte que le fer cru obtenu au charbon de bois : elle renferme d'autant plus de silicium que les minérais sont plus réfractaires et que la température du fourneau est plus élevée. Dans ce cas, elle a une couleur blanche éclatante avec un léger reflet rougeâtre; sa surface est brillante d'étincelles qui se meuvent avec une grande rapidité, jusqu'à ce qu'elle ait passé à l'état solide. Cette fonte qui est très-liquide, coule avec beaucoup de vivacité et remplit les moules parfaitement. Elle devient plus épaisse, se refroidit plus promptement et forme des arêtes moins vives à mesure que le reflet rougeâtre diminue et que la couleur blanche se nuance de jaune; en se figeant, ses arêtes s'arrondissent, sa surface se couvre de pellicules et de soufflures.

La fonte blanche des fourneaux à coke est tellement épaisse qu'elle peut à peine couler et qu'elle se fige à l'instant. On n'aperçoit qu'un léger mouvement à sa surface; elle jette une lumière faible et rouge.

Si le coke donne beaucoup de fraisil, une grande quantité de cendres et peu de chaleur, il est presqu'impossible d'obtenir de la fonte réellement grise. En coulant, elle est toujours épaisse, s'oxide facilement et dégage des jets de flamme; elle montre dans sa cassure une couleur gris cendré, une texture à facettes et un éclat métallique plus faible que celui de la véritable fonte grise. Si l'on refond ce fer cru dans les fours à réverbère, il abandonne une partie des métaux terreux qu'il contient : c'est une espèce de fonte blanche grenue.

866. Lorsque l'ouvrage s'est tellement élargi, que la dépense en combustible devient trop forte et qu'il arrive de fréquens éboulemens, on est obligé d'interrompre le fondage et de *mettre hors*. On donne alors quelques charges de combustible sans minérais, et on laisse descendre toutes les matières; on arrête le mouvement des machines soufflantes lorsque les charges stériles se présentent devant la tuyère. A mesure que les matières s'affaissent, les charges arrivent avec plus de lenteur dans l'ouvrage, probablement parce que la pression exercée sur les couches inférieures est diminuée. Après l'écoulement de la fonte, il reste d'autant moins de métal sur la sole du fourneau, que la température a été plus élevée. Ces masses attachées à la pierre de fond sont demi-affinées et s'appellent *massaux*; on les concasse pour les refondre dans les hauts fourneaux ou pour les traiter dans les feux d'affinerie.

L'ouvrage se reconstruit à neuf, ainsi que les étalages, du moins leur partie inférieure, lorsqu'on peut conserver le reste.

867. Si l'on est obligé de suspendre le travail, soit par manque de charbon ou de minérai, soit pour cause de réparations, on ferme hermétiquement le gueulard et l'avant-creuset, on ôte la tuyère et l'on bouche le trou de la pierre avec de l'argile. Le vide qui se forme par l'affaissement des charges est rempli de temps à autre avec du charbon. Un haut fourneau peut rester plusieurs jours dans cette situation.

868. Lorsque par des circonstances particulières, la suspension du travail doit être très-longue, on charge avec des charbons sans minérais, jusqu'à ce que le fourneau soit rempli de combustible seulement, on arrête ensuite le mouvement des machines soufflantes, on enlève les tuyères

et l'on ferme hermétiquement toutes les ouvertures. Le creuset doit être nettoyé une fois par jour; on remplace le combustible à mesure qu'il descend. On peut conserver de cette manière, un fourneau pendant plusieurs mois. Quand on veut le remettre en activité, on charge un peu de minérai dont on augmente la dose assez rapidement, au point qu'en peu de jours le fourneau se trouve en plein rapport.

869 La durée d'une campagne est très-variable : elle dépend surtout, à moins de circonstances particulières, de la qualité des matériaux employés à la construction du foyer et des parois. L'ouvrage et la cuve ont d'autant moins à souffrir de la chaleur, que la marche du travail est plus régulière. Un fondage peut donc être terminé en peu de semaines, tandis qu'un autre peut se prolonger pendant plusieurs années.

CONSIDÉRATIONS PARTICULIÈRES SUR LE TRAITEMENT DES MINÉRAIS DE FER DANS LES HAUTS FOURNEAUX.

En résumant les principes que nous avons exposés depuis le paragraphe 809 jusqu'au paragraphe 869, on voit que le but qu'on doit avoir en vue, c'est de maintenir la température au degré reconnu le plus convenable pour la production de la fonte qu'on veut obtenir. Et en effet, sous le point de vue théorique, tout dépend de la température du haut fourneau et de la fusibilité des matières. Les résultats de l'opération sont : 1° un régule constituant un mélange intime de différens alliages de fer, de carbone, de manganèse, de soufre, de silicium, de phosphore, de titane, de chrome et peut-être aussi d'aluminium; 2° un composé de corps non réduits dans lequel la silice remplace l'acide, tandis que les autres substances jouent le rôle de

bases, et ce composé se trouve quelquefois mélangé avec du sulfure de calcium. Ces deux produits, le régule et le laitier, sont entre eux dans un rapport intime; la composition et les propriétés de l'un ou de l'autre sont déterminées, soit par la réductibilité et la fusibilité des matières ou de la charge *, soit par la température du fourneau.

871. La couleur de la fonte, la plus ou moins grande quantité de carbone qu'elle contient, et par suite la dose d'oxidule de fer restée dans le laitier, ne dépendent que de la température du fourneau, et cette dernière est réglée par la composition de la charge des minérais et par son rapport à la quantité de combustible employé. Si le mélange de minérais et de fondant varie, on sera obligé de varier aussi ce rapport. Il s'ensuit que la proportion de fondant la plus convenable est celle qui fait porter au charbon la plus forte dose de minérai qu'il soit possible, sans que la nature de la fonte vienne à changer. Ainsi, toute chose égale d'ailleurs, la température du fourneau dépend aussi du dosage et de la nature du fondant.

872. Lorsque l'expérience a fait connaître le degré de température voulu, pour obtenir le produit qu'on cherche, il suffirait en théorie de lui donner les mêmes charges, pour obtenir toujours ce produit. Si l'opération se faisait dans un fourneau plus haut, la chaleur deviendrait plus intense; on pourrait donc charger une plus grande dose de minérais, pour conserver la température reconnue la meilleure eu égard au but qu'on se propose. D'après cela on devrait croire que dans les fourneaux très-grands, on obtiendrait avec économie de combustible les mêmes

* Dans ce cas, nous entendons, par charge, le mélange de minérais et de fondant employé. Le T.

produits que dans de petits fourneaux. D'un autre côté il paraîtrait que, malgré les variations dans la fusibilité des matières, un fourneau pourrait donner des produits constans, si l'on changeait la dose des minérais et celle du combustible, de manière à produire la température jugée nécessaire. Mais l'expérience prouve le contraire en tout point; elle fait voir qu'avec un mélange réfractaire de minérais et de fondant, on obtient toujours dans les fourneaux très-hauts, une fonte plus pauvre en carbone, et plus riche en manganèse et en silicium, que celle qui serait produite dans des fourneaux plus bas par les mêmes minérais rendus très-fusibles au moyen du fondant. La cause de ce fait ne réside que dans la durée de l'opération; la fonte provenant de charges plus fusibles, se dérobe plus promptement à l'action du laitier, parce que les matières sont plus liquides; elle peut donc retenir une plus grande quantité de carbone et elle n'est pas souillée d'une si forte dose de substances étrangères. Le contraire a lieu pour la fonte obtenue avec les mêmes minérais rendus moins fusibles par le fondant : cette fonte qui reste plus long-temps en contact avec un laitier tenace, doit absorber une plus grande quantité de corps étrangers et perdre par la même raison une plus grande partie de carbone. C'est ce qui arrive surtout avec la fonte blanche grenue.

873. Nous n'avons examiné jusqu'ici que le cas où le haut fourneau est pénétré d'une chaleur telle que la réduction des minérais et la carburation du fer ont pu s'opérer en entier. Or, la fonte blanche lamelleuse est celle qu'on obtient par le plus bas degré de chaleur qui permette une réduction et une carburation complètes. Par une température plus élevée, on obtient la fonte mêlée, et ensuite la fonte grise; par une plus basse température, au contraire, le fer ne peut se saturer entièrement de car-

bone, et si elle s'abaisse encore, la réduction devient incomplète. La limite entre ces deux allures du fourneau est donc bien tracée. Lorsque le mélange des matières est très-fusible, on peut maintenir le fourneau sur cette limite, et obtenir, pendant une suite de coulées, de la fonte blanche lamelleuse. C'est alors que l'effet du combustible est le mieux utilisé. Quand on obtient de la fonte grise, la chaleur est employée inutilement pour opérer le changement de la fonte; et quand il y a surcharge de minérai, une partie du fer se fond sans avoir été réduit, ce qui occasionne aussi une dépense inutile de calorique.

Si la fonte blanche lamelleuse séjournait trop longtemps au degré de température nécessaire à sa formation, et en contact avec le laitier, elle se changerait soit en fonte grise, soit en fonte blanche grenue, selon que ce degré de température serait un peu plus ou un peu moins élevé. Il en résulte: 1° que la fonte blanche lamelleuse n'est jamais accompagnée d'un laitier très-visqueux, et qu'on ne peut l'obtenir par un mélange un peu réfractaire de minérais et de fondant; 2° qu'elle doit être plus pure que la fonte grise produite dans le même fourneau par les mêmes matières et à un degré de température plus élevé; 3° enfin qu'elle est aussi plus pure que la fonte blanche grenue obtenue avec un mélange plus réfractaire de minérais et de fondant, bien qu'il ne contienne pas une plus grande quantité de substances nuisibles.

Par une surcharge de minérai, l'oxide de fer ne peut pas se réduire entièrement, ni, à plus forte raison, l'oxide de manganèse, la silice, etc., etc. Il s'ensuit que le fer cru obtenu est encore plus pur que la fonte blanche lamelleuse, et qu'il doit contenir moins de carbone: l'expérience le confirme pleinement. C'est pour cette raison que dans beaucoup d'usines, on sacrifie dans le haut fourneau une certaine quantité de combustible, pour obtenir

une fonte qui s'affine promptement et qui donne un fer de meilleure qualité. Mais il faut alors que les minérais soient purs et fusibles par eux-mêmes et qu'on opère au charbon de bois. Si l'on était obligé de les rendre fusibles par le fondant, on ne pourrait empêcher qu'une partie de la silice, mêlée intimement à ces minérais, ne se réduisît en même temps, pour se combiner avec le fer; et lorsque les matières se présentent dans la région où s'effectue leur séparation, la silice ne peut plus être chassée, quelle que soit l'allure du fourneau. Voilà ce qui arrive quand on fond *les fers argileux, les carbonates argileux* et *les minérais en grain.* La fonte blanche obtenue avec ces minérais par surcharge contient moins de manganèse et de silice que n'en renferme la fonte grise; mais cette fonte blanche n'est pas aussi pure que la fonte blanche obtenue aussi par surcharge avec le *fer spéculaire, les fers magnétiques, les fers bruns et les oxides rouges purs.* En traitant les fers argileux, on n'a aucun avantage à surcharger le fourneau, parce que la fonte blanche obtenue s'affine trop rapidement, c'est-à-dire, qu'elle perd son carbone trop tôt, tout en retenant les matières étrangères dont elle est souillée. La fonte grisâtre, au contraire, restant plus long-temps liquide, laisse à l'ouvrier le temps nécessaire pour l'épurer par l'action du courant d'air.

Avec les hauts fourneaux au coke, on ne peut jamais procéder par surcharge de minérais, parce que les cendres de ce combustible sont trop réfractaires et occasionnent des engorgemens, lorsque la température est maintenue quelque temps à un si bas degré.

Des minérais qui contiennent de l'acide sulfurique ou du soufre, ne peuvent pas non plus être employés en fortes charges, parce que ce corps se combine avec le fer à une assez faible chaleur et ne peut en être séparé que par une température très-élevée, et lorsque le métal, en

présence du charbon, est en contact avec des terres ou d'autres bases oxidées. Il faut donc que le laitier qui accompagne la fonte provenant des minérais sulfureux ne soit pas trop liquide; mais il est évident que cette fonte devient alors grise, d'autant plus qu'un pareil laitier, qui est pauvre en carbone, ne peut s'obtenir qu'à une haute température.

En employant des minérais phosphoreux, on ne doit pas donner les plus fortes charges de minérais par les raisons que nous venons d'indiquer, en parlant des fers argileux; bien que la fonte grise contienne tout autant de phosphore que la blanche. Les phosphates et les sous-phosphates de fer se réduisent aux mêmes degrés de chaleur que le fer lui-même; et dans les températures plus élevées, la chaux, la magnésie, l'oxidule de manganèse, etc., n'agissent pas sur le fer phosphoreux comme sur le fer sulfureux : tout le phosphore contenu dans les minérais reste dans la fonte, et les laitiers n'en offrent pas une trace; tandis que les laitiers des minérais sulfureux renferment toujours, en plus ou moins fortes doses, des sulfures de calcium de magnésium, etc., selon le degré de température qui a régné dans le fourneau. Quelques métallurgistes prétendent à la vérité que le phosphore mélangé aux minérais, à l'état de phosphate de chaux, ne se combine pas avec le fer, et qu'il reste dans les scories, en formant un phosphure de calcium; mais on ne doit guère ajouter foi à cette opinion, avant que la vérité n'en soit constatée par les analyses.

874. On voit, d'après ce qui précède, qu'il y a peu de cas où il soit permis de procéder par surcharge; on doit le plus souvent imprimer au fourneau une allure telle, qu'il donne ou de la fonte blanche lamelleuse, ou de la fonte mêlée, ou bien de la fonte grise, disposée à blanchir par un re-

froidissement subit. Dans de petits fourneaux, on obtient souvent à la fois du laitier pur et du laitier impur, avec une certaine espèce de fonte mêlée : ce n'est point de celle-ci qu'il est ici question; nous ne voulons parler que de la fonte mêlée qui forme la transition de la fonte blanche à la fonte grise. Les raisons qui prononcent en faveur des fers crus que nous venons d'indiquer, ont été suffisamment développées. Mais lorsqu'on opère sur des *minérais réfractaires*, dans des fourneaux très-élevés et avec de fortes machines soufflantes, on n'obtient ces différentes espèces de fer cru qu'avec beaucoup de peine, parce que le passage de la fonte grise, à la fonte blanche par surcharge, est alors très-rapide; la moindre augmentation de ces minérais produit un refroidissement.

La fonte blanche lamelleuse, traitée dans des feux d'affinerie, devient très-liquide, et se conduit à peu près comme la fonte grise; elle est bien éloignée de s'affiner aussi promptement que la fonte blanche par surcharge.

875. Lorsque la fonte est destinée pour la fabrication des objets coulés, le fourneau doit recevoir une allure toute différente. Dans ce cas on ne peut employer aucune espèce de fonte blanche; la fonte mêlée peut servir quelquefois; celle des fontes grises qui expulse beaucoup de graphite, et qui se montre disposée à blanchir par une prompte congélation, ne convient pas non plus : nous avons dit qu'on l'obtient avec des minérais fusibles. Quand au contraire, les minérais sont réfractaires et que l'ouvrage a une certaine hauteur, la fonte grise produite alors n'est pas disposée à blanchir; elle expulse peu de graphite; sa couleur est très-foncée, tirant sur le bleu : l'analyse y découvre en général moins de carbone et plus de silicium que dans toutes les autres fontes grises. Contenant peu de carbone, elle exige une très-haute température pour être

fondue une seconde fois, mais elle conserve après plusieurs fusions toutes ses propriétés. Sous le rapport du contenu de silicium, cette fonte grise diffère de la fonte grise qu'on obtient par des minérais fusibles ou rendus tels, de la même manière que la fonte blanche grenue diffère de la fonte blanche lamelleuse.

Refondue dans les fours à réverbère, la fonte perd une partie de son silicium. Se mouvant dans l'air quand on la verse dans les moules, elle entraîne une certaine quantité de fluide, qui forme des soufflures dans l'intérieur de la masse, et qui fournit ensuite l'oxigène nécessaire pour opérer aussi l'oxidation d'une partie de silicium.

876. Nous avons déjà parlé de l'influence que les dimensions des hauts fourneaux exercent sur la qualité des produits. Lorsqu'on opère au charbon de bois, la cuve et l'ouvrage ne doivent pas être très-hauts, ni ce dernier très-rétréci, malgré l'économie de combustible qui en résulterait; à moins toutefois que la fonte ne soit destinée pour une seconde fusion. Dans les cuves très-hautes, le fer est pour ainsi dire cémenté dans la silice; mais l'emploi de ces ouvrages et de ces cuves est indispensable quand on opère au coke. C'est pour cette raison que la fonte obtenue avec ce combustible, est toujours chargée d'une assez forte dose de silicium.

On peut remédier en quelque façon à l'influence que les dimensions de la cuve exercent sur la qualité de la fonte, en modifiant convenablement le mélange des minérais et du fondant : ce mélange doit être tel, que les minérais ou, pour mieux dire, les terres qu'ils renferment, acquièrent la plus grande fusibilité qu'il soit possible de leur donner. Ainsi la nature de la fonte ou sa couleur, dépendent de la température; mais sa pureté peut être modifiée par le dosage du fondant qu'on ajoute au minérai.

877. Par minérais fusibles, on doit entendre des minarais à la fois fusibles et facilement réductibles. Les silicates et les scories de forges n'appartiennent pas à cette classe. Contenant la silice à l'état de combinaison avec l'oxide de fer, ils se fondent avant d'être réduits, quelque grande que soit, du reste, la dose de charbon employée. Il est même très-difficile de les rendre plus réductibles et de diminuer leur fusibilité, par des additions de matières stériles. Chargées même en petites quantités par rapport à la dose de charbon, les scories de forge donnent de la fonte blànche et du laitier pesant, qui paraît dû à une surcharge.

On ne doit pas comprendre non plus parmi les minérais fusibles ceux qui sont très-riches, comme par exemple les fers magnétiques, les fers spéculaires, les fers bruns et les oxides rouges purs. Ces sortes de minérais ne peuvent être traités pour fonte grise: quelque intense que soit la chaleur du fourneau, il paraîtra toujours surchargé; les matières stériles, liquéfiées, se trouvant en trop petite quantité dans le foyer, ne peuvent protéger le fer contre l'action du courant d'air, de sorte qu'une partie du métal s'affine, et qu'une autre s'oxide, ce qui produit un laitier très-chargé de fer. Ces minérais qui se conduisent d'une manière opposée à celle des silicates, doivent être mélangés soit avec des minérais pauvres, soit avec une grande dose de matières stériles.

Si la charge se compose d'un mélange de minérais dont les propriétés soient tout-à-fait différentes, sous le rapport de leur réductibilité et de leur fusibilité, on obtient un mélange de fonte blanche et de fonte grise (874). Cet accident arrive sur-tout lorsque les fourneaux ont peu de hauteur; les variations dans le dosage et dans la fusibilité des minérais sont alors plus sensibles.

878. Ce n'est pas lorsque le fourneau est dérangé qu'on peut juger de la dose et de la nature du fondant qu'il faut employer, pour réduire un minérai de la manière la plus avantageuse; dans ce cas, c'est l'oxidule qui détermine la fusion des terres. Cependant il ne faut pas croire que le laitier qu'on obtient par une surcharge, absorbe de l'oxidule de fer, parce que la silice n'a pu être saturée par les autres bases (à moins toutefois qu'on ne traite un silicate de fer). Si c'était la véritable cause du phénomène, on ne pourrait jamais obtenir du laitier pur, quelle que fût l'allure du fourneau. Quand on fait varier la dose de fondant et qu'on veut maintenir la chaleur au même degré, on est obligé de changer le rapport de la charge de minérai à la charge de charbon. Or la dose de fondant la plus convenable, est celle qui fait supporter au charbon la plus grande quantité de minérai qui soit possible, sans que le laitier devienne impur; ou, ce qui revient au même, la meilleure dose de fondant est celle qui rend le minérai le plus fusible à la température qui produit une séparation complète des matières.

879. On parvient par un tatonnement bien simple à connaître le mélange le plus fusible de minérais et de fondants: il consiste à augmenter le poids du fondant successivement, à mesure qu'on peut faire croître la dose de minérais, jusqu'à ce qu'on arrive au maximum, sans que le fourneau se dérange, sans que le laitier devienne pesant, et de manière que la fonte soit *mêlée*. Si, par une raison quelconque, on voulait ensuite obtenir de la *fonte grise pour la forge*, on diminuerait un peu la charge *de minérais* par rapport à la dose de charbon. Cette fonte grise, produite alors par le mélange le plus fusible, de minérais et de fondant, contiendrait moins de silicium que toute autre espèce de fonte grise donnée par ces mêmes

minérais. Si au contraire on voulait obtenir de la *fonte grise pour seconde fusion*, on diminuerait un peu la dose *de fondant* reconnue pour donner aux minérais le maximum de fusibilité, afin que cette fonte pût acquérir les qualités requises (875).

En tâtonnant, comme nous venons de l'indiquer, on reconnaît une trop forte dose de fondant aux signes qui annoncent une surcharge de minérais.

880. Lorsqu'on veut traiter un minérai nouveau dont les propriétés ne sont pas encore connues, il faut d'abord faire des essais en petit, dans des creusets, sur différens fondans mêlés avec les minérais en diverses proportions. On adopte ensuite le fondant et le dosage avec lesquels on a obtenu le fer cru le plus compacte et le laitier le mieux vitrifié. Plus tard, on part de cette donnée, lorsque le fourneau est en pleine activité, pour se livrer au tâtonnement que nous avons indiqué (879).

881. Nous avons déjà parlé du but et de la nécessité des fondans (415 à 420, 455 à 468); ils doivent servir à saturer la silice. On conçoit qu'un excès de fondant puisse rendre un minérai tout aussi réfractaire qu'il le serait par un manque de cette matière stérile. Si le minérai ne contenait que la silice et l'oxide de fer, on ne pourrait le réduire entièrement, quelque élevée que fût la température du fourneau; parce que cette terre, prise isolément, est infusible.

882. Bien que la formation des scories s'explique de la manière la plus satisfaisante par le rôle que joue la silice, on commettrait une grande erreur si, par la composition du laitier, on voulait juger de la justesse des doses de fondant, ou bien si, par la composition des minérais, on

voulait déterminer le choix et la quantité de fondant qu'il faut employer. Les résultats de ces calculs cadreraient avec les lois atomistiques; mais indépendans de la température du fourneau, ils seraient très-erronnés : un laitier, calculé de cette manière, ne se formerait peut-être pas au degré de chaleur nécessaire pour produire une espèce de fonte donnée. Pour être en droit de procéder de la sorte, on devrait faire voir que les laitiers les plus purs, obtenus en même temps que la fonte blanche lamelleuse et par le meilleur dosage de fondant, offrent dans leur composition des proportions déterminées. Or, le meilleur dosage est celui qui fait supporter au charbon la plus grande quantité de minérais, sans que le laitier se charge de métal. Mais si la température s'abaisse, ce laitier ne peut se liquéfier qu'à l'aide d'une autre base, formant un silicate très-fusible. Sa composition varie donc avec la température du fourneau, bien que la dose de fondant reste constante : ainsi cette dernière ne peut se déterminer que pour un degré de chaleur donné, tel qu'il en résulte une réduction complète, et des laitiers légers ne contenant point de métal.

883. Rien ne prouve que le laitier composé en proportions déterminées, soit précisément le plus fusible à la plus basse température où les minérais peuvent se réduire entièrement, celle où l'on obtient de la fonte blanche lamelleuse; si ce fait existait, il serait nécessaire de le constater par l'expérience, parce qu'on ne pourrait le prouver par induction : on voit, au contraire, que le laitier qui est le plus disposé à prendre des formes cristallines et qui par conséquent semble se rapprocher le plus des proportions déterminées, est plus réfractaire que le laitier vitrifié. Remarquons encore que les laitiers qui se congèlent avec lenteur, présentent des cristallisations en beaucoup d'endroits, et qu'on parvient même à produire des formes cris-

tallines, en grillant long-temps les laitiers solides: les morceaux cristallisés sont composés en proportions déterminées. Si l'on opérait sur de semblables fragmens, on pourrait être conduit aux plus fausses conclusions.

Il existe très-peu d'analyses de laitiers, et ceux que nous possédons offrent peu d'intérêt, pouvant provenir d'une bonne ou d'une mauvaise dose de fondant; on ne pourrait en juger par leur pureté seulement, parce qu'on parvient, avec une charge très-réfractaire même, à obtenir des laitiers purs, en élevant convenablement la température du fourneau.

884. J'ai fait exécuter plusieurs expériences en grand, sur le dosage des fondans aux forges de Kœnigshütte, en Silésie. Le haut fourneau qui a servi à cet effet est activé avec du coke; il a 14 mètres d'élévation: les minérais sont des fers bruns argileux mélangés avec des carbonates argileux, et leur fondant est un carbonate de chaux pure.

Le premier essai fut effectué avec une dose de fondant de 17 à 19 pour cent, employée ordinairement dans ces usines: la fonte était devenue chaude, grise, à gros grains et possédant un vif éclat; le laitier était un peu visqueux dans le foyer, mais du reste très-bon; il ne s'attachait pas aux parois du creuset ni autour de la tuyère. Cette fonte, très-chaude, en sortant du creuset, resta long-temps liquide, n'expulsa point de graphite, et ne fut point disposée à blanchir par une subite congelation. Elle contînt 2,259 pour cent de silicium, et 3,33 pour cent de carbone libre. Après le refroidissement le laitier montra une couleur vert poireau, parut vitreux, quoiqu'opaque, et à peine translucide sur les bords. Réduit en poussière, il montra la même couleur, se laissa dissoudre entièrement dans l'acide hydrochlorique, donna une liqueur incolore, abandonna la silice sous forme gélatineuse et dégagea une forte odeur de gaz hydrogène sulfurée: Voici sa composition:

		Oxigène.	
Silice	54,10		27,5
Alumine	6,70	3,13	13,28
Chaux	26,90	7,56	
Oxidule de manganèse	11,60	2,59	
Oxidule de fer	0,20		
Soufre et perte	0,50		
	100,00		

L'oxidule de manganèse renfermait encore quelque trace de magnésie. On voit par l'analyse de ce laitier qu'il ne s'éloigne guère des bisilicates. C'est à la grande quantité de silicate de chaux, qu'on doit attribuer sa solubilité dans les acides. Se rapprochant des proportions déterminées, formant un bisilicate qu'on cherche presque toujours à obtenir, accompagnant une fonte très-grise et contenant une très-petite quantité de fer, il paraîtrait dû à une excellente dose de fondant.

Pour le deuxième essai on augmenta cette dose et on la porta à 26 pour cent; conservant alors la même charge de charbon, on put augmenter de 5 à 6 pour cent la charge de minérais, sans que le laitier fût souillée de fer. Les matières devinrent plus liquides dans le creuset et le travail fut plus facile. En grosses pièces, la fonte fut très-grise, mais elle se montra fort disposée à blanchir par un refroidissement subit; elle expulsa beaucoup de graphite et parut, en pièces minces, composée de fonte lamelleuse et de fonte grise; en s'écoulant elle présenta une couleur plus rouge et se figea plus vîte que la fonte grise obtenue par une plus faible addition de fondant. Par l'analyse elle donna 1,302 pour cent de silicium, 3,62 pour cent de graphite et une bien plus grande quantité de carbone combiné, que n'en fournissait la fonte grise du premier essai.

Le laitier était vitreux, fortement translucide sur les

bords, et même transparent en petites pièces; il avait la couleur de la colophane; mais réduit en poussière, il était presqu'incolore : quelques morceaux étaient rubanés en bleu jaunâtre. Soumis à une température plus élevée dans le haut fourneau soit par accident, soit par une diminution de charge, il se montra lithoïde, après le refroidissement et d'une couleur bleue claire de lavande. Mais le laitier vitrifié, qui avait la couleur de la colophane, devenait aussi bleuâtre et acquérait un noyau lithoïde par un refroidissement très-lent, ou bien par un grillage continué long-temps.

Le laitier vitreux et transparent, réduit en poudre se laissa dissoudre très-vite dans l'acide hydrochlorique, donna de la silice gélatineuse, et dégagea de l'hydrogène sulfuré. Voici les résultats de l'analyse :

		Oxigène	
Silice	45,85		22,98
Alumine	4,00	1,87	
Chaux	41,95	11,79	15,29
Oxidule de manganèse	7,25	1,63 (manganèse et fer)	
Oxidule de fer	0,10		
Soufre et perte	0,85		
	100,00		

Le laitier lithoïde bleu-clair était très-dur, s'écrasa difficilement, ne fut soluble dans l'acide hydrochlorique qu'à la longue, et par l'emploi de la chaleur. Il donna :

		Oxigène.	
Silice	39,60		19,85
Alumine	12,60	5,89	
Chaux	42,85	12,04	18,88
Oxidule de manganèze	4,30	0,95	
Oxidule de fer	trace.		
Soufre et perte	0,65		
	100,00		

Le laitier de couleur colophane, obtenu par une excellente allure du fourneau, s'éloigne en tout point des proportions déterminées. Le laitier lithoïde au contraire se rapproche par sa composition des silicates. Quelle serait donc l'erreur de ceux qui voudraient juger de ces deux espèces de laitier, et par conséquent de la dose de fondant, d'après la loi des proportions déterminées !

Pour le troisième essai, l'addition de fondant fut portée à 38 pour cent ; mais il se forma un nez devant la tuyère, preuve que le mélange des minérais et du fondant était trop réfractaire. La fonte resta encore grise, mais le décroissement de température devint si considérable, qu'on s'empressa de diminuer la dose de fondant, pour ne pas engorger l'ouvrage. La fonte était semblable à celle du deuxième essai, parce que la forte chaleur qui régnait dans le fourneau, avait encore déterminé, pendant quelque temps, la fusion des matières devenues plus réfractaires. Une partie du laitier était vitreux, transparent, couleur colophane, différant très-peu de la même espèce de laitier obtenue par l'essai précédent ; mais une grande partie était entièrement lithoïde, de couleur bleue-claire. Ils se comportèrent à l'égard des acides, comme leurs correspondans du deuxième essai. Le premier, celui qui était vitreux, contenait :

		Oxigène.	
Silice.	42,40	. . . .	21,3
Alumine.	4,75	2,12	16,18
Chaux	42,45	11,93	
Oxidule de manganèse. .	9,45	2,13	
Oxidule de fer.	0,25		
Soufre et perte	0,70		
	100,00		

Le laitier bleu verdâtre, opaque et lithoïde contenait :

			Oxigène.
Silice	41,35		20,8
Alumine	6,15	2,88	16,98
Chaux	44,55	12,42	
Oxidule de manganèse	7,50	1,68	
Oxidule de fer	0,15		
Soufre et perte	0,30		
	100,00		

Ainsi la dose de fondant, pour les minérais en question, se trouve entre 26 et 30 pour cent : on serait obligé de la changer si l'on mélangeait les mêmes minérais en d'autres proportions. Ces essais prouvent aussi qu'il y a une grande différence entre l'allure d'un fourneau qui est alimenté avec un mélange réfractaire de minérais et de fondant, et la marche qu'il suivrait si le mélange était plus fusible. Dans l'un des cas, il passe rapidement du degré de chaleur le plus fort, à une température qui annonce une surcharge de minérais; le laitier très-pur d'abord, devient tout à coup surchargé de fer : tandis que dans l'autre cas, on le maintient facilement sur la limite qui existe entre ces deux marches opposées.

885. Les silicates d'oxidule de manganèse sont en général très-fusibles; c'est pour cette raison que les hauts fourneaux alimentés avec des minérais manganèsifères, peuvent être maintenus long-temps au plus bas degré de chaleur auquel on puisse obtenir un laitier pur. Les silicates de chaux sont plus fusibles que les silicates de magnésie et ceux-ci le paraissent plus que les silicates d'alumine : une légère addition d'argile rend les matières très-réfractaires, et force d'en diminuer la quantité, pour ne pas déranger le fourneau. Les bisilicates surpassent en fusibilité et les silicates et les trisilicates.

886. On croit en général que les laitiers de hauts fourneaux se rapprochent le plus des bisilicates. Mais il règne encore beaucoup d'incertitude sur cet objet (883). Voici au reste un tableau indiquant les analyses de plusieurs espèces de laitiers.

	NOMS des AUTEURS.	SILICE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ALUMINE.	OXIDULE de fer.	OXIDULE de manganèse.	PERTE.
	MM.							
a	Berthier.	53,0	15,0	8,0	1,0	11,5	9,3	2,2
b	*id.*	71,0	7,2	3,2	2,5	4,7	8,0	3,4
c	Bouesnel.	49,6	30,0	»	15,0	3,0	»	2,6
d	*id.*	39,5	35,6	»	18,0	3,0	»	3,9
e	*id.*	56,0	22	0,5	11,0	3	4,0	3,5
f	*id.*	43,0	26,5	trace	21,5	3	5	1
g	Berthier.	52,8	5,6	9,0	3,4	1,4	26,2	1,6
h	*id.*	40,4	38,4	5,2	11,5	3,8	»	1
i	*id.*	37,0	38,4	4,2	13,2	1,2	2,6	2
k	Karsten.	70,12	19,71	0,70	6,25	1,45	1,40	0,37
l	*id.*	49,57	»	15,15	9,00	0,04	25,84	0,32
m	*id.*	47,39	»	10,22	6,66	0,06	33,96	0,63
n	*id.*	37,80	»	8,60	2,10	21,50	29,20	0,78
o	Oengren.	61,06	19,81	7,12	5,38	3,29	2,63	0,71
p	Rinmann.	52,520	16,980	19,402	3,516	2,964	5,956	0,662

Les laitiers (a et b) viennent du haut fourneau de S[te]-Hélène, dans le Dauphiné; ils ont été produits par la fusion de fers spatiques. Le laitier (a) est noir, poreux et léger, provenant d'une allure du fourneau dite bonne; le laitier (b) est jaune grisâtre, compacte, provenant d'une allure dite mauvaise: les qualifications de bonne et de mauvaise ne se rapportent qu'au produit qu'on cherche à obtenir dans cette usine, où l'on préfère la fonte donnée

par surcharge de minérais. Dans le laitier (a), la silice renferme 26,659 parties d'oxigène et les bases 17,518. Dans le laitier (b) au contraire, la silice renferme 35,713 parties d'oxigène et les bases 7,252.

(c et d) sont deux laitiers d'un fourneau du Creuzot, activé au coke. Le laitier (c) a été obtenu par une allure régulière; il est opaque et d'une couleur blanche grisâtre: la silice renferme 25 parties d'oxigène et les bases 16,353. Le laitier (d) obtenu par une allure trop froide, est mal fondu, très-poreux et presque noir: la silice renferme 19,868 parties d'oxigène et les bases 19,327.

(e) est un laitier des forges de Glabecq, en Belgique, où l'on traite par un mélange de coke et de charbon de bois un fer argileux rouge; la silice renferme 28,168 parties d'oxigène et les bases 13,311.

(f) est un laitier de fer argileux, traité au charbon de bois; la silice renferme 31,629 parties d'oxigène et les bases 19,888.

(g) est un laitier des forges de Lohhütte, près de Siègen, obtenu de fers spatiques traités au charbon de bois; il était accompagné par la fonte blanche lamelleuse : la silice renferme un peu plus du double de l'oxigène des bases.

(h et i) sont deux laitiers de Dowlais, du pays de Galles, sortant d'un haut fourneau des plus grandes dimensions. Le laitier (h) a été obtenu lorsque le fourneau était en bonne allure; ce laitier est compacte, lithoïde, d'une couleur jaune blanchâtre et mêlé de parties vitreuses: la silice renferme 20,5 parties d'oxigène et les bases 19,14. Le laitier (i) contient en outre 1,4 de soufre; il est compacte, pierreux, noir, opaque et il a été obtenu, dit-on, par une mauvaise allure du fourneau, ce qui ne paraît pas d'accord avec sa composition; car il renferme moins d'oxidule de fer que le laitier (h).

(k) est un laitier du haut fourneau de Peitz où l'on

traite des fers limoneux. Ce laitier a été obtenu par une allure régulière : la silice renferme à peu près le double de l'oxigène des bases.

(l, m, n) sont trois laitiers des forges de Hamm, obtenus par un mélange de fers spatiques et de fers bruns, dans des fourneaux à charbon de bois; tous les trois sont dus aux mêmes proportions de minérais et de fondant : le laitier (l) était accompagné de fonte grise, le laitier (m) de fonte blanche lamelleuse, et le laitier (n) de fonte blanche par surcharges de minérais. J'ai fait ces analyses pour prouver que le manganèse quitte le laitier et se combine avec le fer, lorsque la température du fourneau s'élève. Le laitier (l) renferme encore 0,08 pour cent de soufre, et (n) 0,02 pour cent de ce corps.

(o) est un laitier du haut fourneau de Gesberg, en Suède. Il était vert clair émailleux un peu boursoufflé, il provenait d'une allure régulière (archives, XI, 434). La silice renferme 30,6 parties d'oxigène et les bases 12,19, de sorte que le laitier est compris entre un bisilicate et un trisilicate.

(p) est un laitier cristallisé, provenant des forges de Skébo, en Suède (archives XV, 456). La fonte accompagnée par cette espèce de laitier, s'affina très-promptement et donna un fer très-doux. La silice renferme 27,268 parties d'oxigène et les bases 15,458.

Ces résultats ne peuvent donner une idée exacte de la composition que doivent avoir les laitiers; il faudrait pour cet effet que le fondant eût été ajouté au minérai en juste dose, et que l'on connût exactement toutes les circonstances de la fusion. Il n'est pas probable que l'oxigène de la silice soit toujours à celui des bases, comme 3 est à 2; ce rapport varie avec les terres et les différentes bases qui entrent dans la charge; attendu qu'un silicate donné devient souvent plus fusible ou plus réfractaire, lorsqu'il se com-

bine avec un autre en certaines proportions. Pour déterminer la dose de fondant, on est donc obligé d'en revenir aux tatonnemens précédemment indiqués (879).

887. La cause qui colore les laitiers purs, en bleu ou en vert, est encore inconnue; il est probable que ces couleurs sont dues à un état de combinaison particulier de l'oxidule de fer avec une autre base et avec la silice, bien que cette quantité d'oxidule soit très-petite. On ne peut attribuer ces couleurs à l'oxidule de manganèse, parce qu'il existe beaucoup de laitiers, qui chargés de cette substance sont incolores.

Tous les laitiers obtenus par une très-haute température prennent une forme cristalline ou lithoïde. Les laitiers purs se colorent en général par un grillage prolongé, effectué en vases clos, et reçoivent alors un tissu pierreux, bien qu'ils fussent d'abord vitreux: il en existe d'une couleur très-claire, qui deviennent souvent, par cette opération, bleus, verts ou jaunes. Il est assez remarquable que les laitiers les plus purs soient les plus disposés à éprouver ces changemens: il suffit souvent qu'ils se refroidissent avec lenteur et en grosses masses, pour que le noyau présente une texture lithoïde.

Des laitiers très-purs, arrosés d'eau, étant encore rouges de feu, se boursoufflent d'une manière extraordinaire et forment une substance poreuse, très-légère, semblable à la pierre ponce et dégageant alors de l'hydrogène sulfuré.

888. Dans les fourneaux à charbon de bois dont les étalages ont une pente douce, on trouve quelquefois du sel de cuisine et du sel digestif en dépôt sur ces étalages.

Dans les coins de l'ouvrage, on voit souvent toutes sortes de composés sous forme cristalline. Dans les hauts fourneaux à coke, les laitiers se figent fréquemment et

s'aglomèrent : si les masses qui en résultent séjournent long-temps dans le creuset, elles offrent à divers corps des réduits, ou ils se désoxident et forment des composés cristallins. D'autres composés prennent naissance dans les fentes de la maçonnerie où ils trouvent un abri. On voit souvent soit dans les fentes, soit aux parois de l'ouvrage de la silice pure, semblable à l'asbeste, du titane métallique, du sulfure de fer et du sulfure de manganèse, du minium, du silicate de plomb, de la litharge cristallisée, du plomb métallique, en cristaux de toute beauté; etc., etc.

889. La fonte se convertit en objets coulés, ou bien elle est mise sous forme de plaques, de prismes ou parallélipipèdes de 6 à 8 p^{ds} de longueur, de 10 à 12 pouces de largeur, et de 2 à 4 pouces d'épaisseur, destinés pour les feux d'affinerie. Les plaques s'appellent *floss*, les prismes portent le nom de *gueuses*. Quelque essentiel qu'il soit de ne faire produire que de la fonte grise aux minérais qu'on traite avec du coke, ou bien à ceux qui sont souillés de soufre, on ne peut nier cependant que ce fer cru n'exige le plus de temps et de matières pour être converti en fer ductile : dans ces cas la fonte blanche ne donnnerait que de mauvais fer; et pour l'améliorer, il faudrait faire encore une plus grande dépense en métal et en combustible. En Suède, dans les usines où l'on obtient de la fonte grise, on la blanchit, par un refroidissement subit opéré dans l'eau. Souvent on est obligé de produire de la fonte grise, lors même qu'elle est destinée pour la forge.

Dans ce cas, il est avantageux, sous le rapport de l'économie, de la refroidir subitement, de la mettre sous forme de blettes, comme on le fait dans l'Allemagne méridionale, et de la griller ensuite dans les fours à reverbère, avant de la soumettre à l'opération de l'affinage; afin de brûler une partie du carbone qu'elle contient.

890. Quand on est obligé de puiser la fonte avec la poche et que le laitier ne peut s'écouler librement, il est toujours imprégné d'une grande quantité de globules de fer cru, ce qui arrive du reste pour tous les laitiers de halage qu'on obtient en nettoyant le creuset. Cette fonte, qui se trouve encore en plus grande abondance dans les laitiers des flussofen et des stuckofen, en est retirée par le bocardage: on l'appelle *fonte de bocard.*

Le laitier qui s'écoule spontanément n'est pas mêlé de grains de fonte et n'a pas besoin d'être bocardé.

891 La consommation du fourneau en matières premières et le poids des produits, doivent être enregistrés tous les jours avec la plus grande exactitude.

Le charbon est reçu et chargé à la mesure, et comme la dose en est constante, il suffit, pour en déterminer la consommation journalière, de prendre le total des charges notées par l'ouvrier qui les verse dans le gueulard.

Les minérais sont aussi reçus à la mesure et livrés de cette manière aux employés des hauts fourneaux, par jour ou par semaine. Un autre moyen de connaître la consommation des minérais et qui sert de vérification au premier, résulte du poids des charges, qu'on peut réduire en mesures, d'après des rapports connus. Si dans les usines il existe des ouvriers particuliers pour composer les charges, ils doivent noter le poids et les mesures. Ce qu'on dit des minérais s'applique aussi aux fondans. Le nombre des charges, les poids des minérais, les poids et les numéro des gueuses, sont donc inscrits sur un tableau qui est dans l'usine. C'est à l'aide de ces situations journalières, qu'on peut composer l'état général du fondage, qui doit contenir les colonnes suivantes:

1° Le numéro de la semaine, compté depuis le premier jour de la mise en feu;

2° Le nombre des charges faites par jour;

3° La consommation journalière de minérais, exprimée en poids et en mesures;

4° La consommation journalière de fondant;

5° La consommation journalière de charbon;

6° Le produit journalier;

7° La pression du vent;

8° Le nombre des coups de piston fournis par la machine soufflante, dans une minute;

9° Des observations sur la nature des matières premières, la hauteur du thermomètre, celle du baromètre et les accidens survenus pendant le travail.

Un semblable registre, tenu avec l'exactitude nécessaire, peut donner au maître de forges les renseignemens les plus positifs sur la marche de ses opérations et sur les moyens qu'il doit employer, pour réduire ses minérais avec le plus de bénéfice possible. Il faut donc enregistrer aussi les dimensions du fourneau, de la cuve, des étalages, de l'ouvrage, et joindre des dessins à ces notes, pour en faciliter l'intelligence.

892. Dans plusieurs usines on a essayé de déterminer le déchet, en pesant les minérais, le charbon, le fondant, le produit et le laitier; mais il est évident qu'on ne peut en retirer aucune lumière sur la marche du fondage, parce qu'il faudrait connaître avec la plus grande précision les quantités d'eau, de cendres, d'acide carbonique et d'oxigène contenues dans les minérais, le combustible et le fondant: voilà précisément ce qu'il est impossible de savoir.

Il serait de la plus grande utilité qu'on dressât pour les hauts fourneaux, les flussofen et les stuckofen, qui sont connus, des tableaux de la consommation du charbon; mais il faudrait indiquer aussi avec exactitude les poids

moyens des charbons séchés à l'air, donner les renseignemens les plus précis sur la nature de ces combustibles et sur la composition des minérais, sur les dimensions du fourneau, sur la quantité d'air qu'il reçoit, sur la vitesse du vent et sur le mode de travail suivi par le fondeur. M. de Marcher s'est livré à ces recherches; mais les tableaux qu'il a dressés, ne renferment pas les données les plus essentielles. Ces tableaux ne seraient réellement instructifs, que dans le cas où l'on mettrait en parallèle des fourneaux de dimensions différentes, alimentés avec les mêmes minérais et les mêmes charbons; mais il y a peu d'usines où l'on puisse donner ces sortes de renseignemens avec une grande précision.

On ne devrait pas estimer la consommation de charbon au poids seulement; il faudrait l'évaluer surtout à la mesure, à cause de l'eau dont le combustible est plus ou moins chargé. D'après les observations qu'on a faites, il paraîtrait que la quantité de charbon nécessaire pour obtenir une partie pondérée de fonte, varie entre 1 et 5: d'un autre côté on compte de 0,79 à 1,85 mètres cubes de charbon de bois par 100 kilogrammes de fonte; mais il est très-probable que ces données sont loin de s'accorder avec de nouvelles observations.

DEUXIÈME DIVISION.

DU FER CRU DESTINÉ POUR LA FABRICATION DES OBJETS COULÉS.

893. L'art de jeter en moule consiste en général à donner aux métaux liquides des formes variées et déterminées par l'usage des objets qu'on veut fabriquer. Ces objets, lorsqu'ils sont en fonte, s'appellent *fers coulés*.

La fabrication des fers coulés a été connue avant l'usage des hauts fourneaux; il est probable que, versée dans les moules, la fonte a reçu des formes appropriées à nos besoins, aussitôt qu'on est parvenu à l'obtenir à l'état liquide. Les minérais traités d'abord dans les stuckofen et dans les foyers dits à la *catalane*, ne pouvaient donner un produit liquide, à moins que l'opération ne fût manquée en partie. Il faut donc croire que la première fois qu'on a fait usage de la fonte, pour en fabriquer certains objets, on l'avait obtenue accidentellement. Dans les pays où l'on réduisait des minérais peu disposés à produire du fer liquide, l'art de mouler, connu plus tard, a dû faire aussi peu de progrès; c'est ce qui a eu lieu par-tout où l'on disposait de fers spathiques et d'oxides non mêlés de substances étrangères.

Après qu'on eut commencé à donner plus de hauteur aux stuckofen, pour y traiter des minérais moins riches, quoique très-fusibles, il arriva souvent que le fer devint liquide; on essaya donc de le convertir en objets coulés, dont la fabrication fut perfectionnée depuis, par suite de l'emploi des hauts fourneaux.

894. D'après les renseignemens que l'histoire nous a transmis, il paraît que l'argent est le métal qui le premier

a été converti en objets coulés. Peut-être a-t-on commencé dans le même temps à confectionner des vases d'or. Mais l'emploi du bronze a été connu plus tard. Le degré de perfection où l'art de jeter en moule était parvenu chez les anciens, nous est prouvé par les statues qu'ils nous ont laissées. Le plomb et l'étain sont trop mous pour la confection de la plupart des objets moulés. Quant au fer, on ne peut affirmer d'une manière positive que les anciens n'en aient point fabriqué des objets coulés; l'histoire n'en fournit aucune preuve.

895. A peine avait-on connu l'emploi du fer moulé dans la vie domestique, qu'on a senti l'avantage qui pouvait en résulter pour les arts. Ce sont particulièrement les Anglais qui en ont étendu l'usage: on leur doit les progrès rapides que l'art de mouler la fonte a faits depuis une cinquantaine d'années. Le fer cru a sur le cuivre ou sur le bronze les avantages suivans:

1° Il est d'un prix moins élevé. Son usage peut donc devenir plus général que celui du bronze; au point que dans beaucoup de circonstances il peut remplacer le bois et la pierre;

2° Il est plus réfractaire. On peut donc l'employer pour des objets destinés à subir un degré de chaleur qui mettrait le bronze ou le cuivre en liquéfaction;

3° Il est plus dur que le cuivre, du moins dans certaines circonstances. On peut donc s'en servir pour des enclumes, des marteaux, des pilons, des cylindres de compression, des fers de charrue et pour beaucoup d'objets soumis à un frottement considérable.

4° Il est beaucoup plus liquide et prend moins de retrait en se figeant. Il peut donc recevoir des impressions plus délicates que le bronze, qui est plus épais et qui se retire davantage.

D'un autre côté, la fonte exige un degré de chaleur bien plus élevé, attaque les moules davantage et se fige plus vite que le bronze. C'est par ces deux dernières raisons qu'il est très-difficile de couler de grandes statues en fonte de fer : on aurait besoin, pour cet effet, de ménagemens sans nombre pour confectionner les moules, pour y conduire le métal liquide, pour les remplir promptement et pour offrir des issues à la vapeur ; l'ouvrage serait manqué, si une partie de la statue se figeait avant que le moule fût rempli en entier.

896. La fonte qu'on veut convertir en objets moulés doit avoir les qualités suivantes :

1° Elle doit être très-liquide, et se figer le moins vite possible, afin de remplir les moules parfaitement ;

2° Refroidie, elle ne doit pas présenter des soufflures dans l'intérieur, ni des inégalités à sa surface ;

3° Elle ne doit pas dégager beaucoup de graphite en se figeant, surtout lorsqu'elle est destinée à recevoir des impressions délicates ; parce que la netteté des contours en souffrirait ;

4° Il faut qu'après le refroidissement elle soit le moins aigre possible ;

5° Convertie en objets qui doivent être travaillés au foret et à la lime, elle ne doit pas avoir une très-grande dureté après le refroidissement ; mais elle doit posséder un peu de malléabilité ;

6° Il ne faut pas que, douée d'un excès de chaleur, elle puisse attaquer les moules, ce qui dégraderait la surface de l'objet* ;

---

* Lorsque la fonte est trop chaude, on la conserve quelques instans dans les cuillers ou poches, avant de la verser dans les moules. C'est une attention qu'on ne doit pas négliger dans la fabrication des projectiles. Employée trop chaude, elle montre après le refroidissement des dépressions et des soufflures. Le T.

7° Employée pour des objets durs, elle ne doit pourtant pas devenir aigre; il faut qu'elle soit tenace malgré sa dureté;

8° Elle doit prendre peu de retrait, afin que les proportions entre le parties de l'objet ne soient poins altérées;

9° Il faut qu'elle soit le plus compacte possible, surtout si dans les objets moulés on fait bouillir des liquides.

897. D'après ce qui vient d'être dit, on voit qu'en général c'est la fonte grise qui est la plus propre à la fabrication de la plupart des objets moulés. La fonte blanche par surcharge, ne peut servir au moulage, parce qu'elle est épaisse, se fige vite et devient trop aigre après le refroidissement. La fonte blanche grenue, à moins d'être trop froide, peut servir à la fabrication des objets qui demandent une grande dureté, comme les cylindres, les enclumes, les pilons des bocards, etc.; attendu qu'elle n'a pas l'aigreur de la fonte blanche ordinaire. On pourrait en couler aussi des cloches; mais on ne l'obtient guère dans les fourneaux à charbon de bois, et l'on tâche de la produire le moins possible dans les fourneaux à coke.

La fonte très-grise qui dégage beaucoup de graphite pendant le refroidissement, ne peut servir pour la confection des objets délicats. On ne devrait pas employer pour la fabrication des pièces qui doivent être très-denses, très-solides et d'une épaisseur moyenne, le fer cru des fourneaux à coke, lorsqu'il est très-chargé de métaux terreux: il en expulse une partie par la congélation opérée au contact de l'air, et présente alors dans l'intérieur des solutions de continuité, semblables à des arrachemens; et lorsque cette fonte se refroidit hors du contact de l'air, il se forme dans son intérieur des cristallisations qui produisent les solutions de continuité. Ces phénomènes, suite d'un refroidissement inégal, ont lieu rarement si les objets sont

très-gros ou très-minces : dans le premier cas, la fonte est très-liquide, échauffe le moule suffisamment et se refroidit alors à la fois dans toute l'épaisseur de sa masse ; dans le deuxième, sa congélation est pour ainsi dire instantanée.

La fonte qui ne contient pas une grande dose de métaux terreux, n'est pas disposée à former des cristallisations ; ce qui leur ressemble au premier abord, ce sont des lames de graphite qui s'accumulent par le refroidissement dans l'intérieur de la masse. Les cristallisations se rencontrent fréquemment dans la fonte blanche grenue qui ne provient pas d'une surcharge de minérai, ainsi que dans toutes les fontes grises chargées de métaux terreux *.

* Ces formes cristallines si fréquentes dans les bombes, sont très-rares dans les obus de 24 et dans les flasques. Parmi 38 bombes de 10 et de 12 pouces que j'ai fait briser, et qui se trouvaient rebutées pour d'autres raisons, j'en ai trouvé un tiers qui présentaient dans leur cassure des cristallisations colorées en jaune, en cramoisi, etc. Dans celles des obus de 6°, on ne voit que des arrachemens dus à l'expulsion des métaux terreux, et ces corps ne sont pas entièrement cristallisés ; parce que les parois de ce projectile sont déjà trop minces et se refroidissent trop vite. Dans les obus de 24 les arrachemens mêmes sont très-rares par cette raison, et dans les grenades on ne les remarque jamais. Les pellicules qu'on trouve si fréquemment sur la surface des projectiles, ne sont dues qu'aux cristallisations des métaux terreux. On peut parer à ces fâcheux accidens, en conservant la fonte quelques minutes dans les poches ; versées ensuite dans les moules, elle se mêle ; la disposition qu'ont les corps étrangers à se séparer de la masse en est contrariée, le refroidissement arrive plus vite, la séparation devient moins facile, et la masse ne présente plus ni de si grandes ni de si nombreuses solutions de continuité. Les dépressions dont nous avons parlé dans la note précédente, et qui se remarquent autour de l'œil, à la surface intérieure des obus de 6°, de 8°, des bombes de 10° et de 12°, ne sont autre chose qu'un effet des arrachemens qui souvent se prolongent depuis le milieu de l'épaisseur du métal jusqu'à la surface intérieure du mobile. Dans plusieurs usines, la majeure partie des rebuts est due aux vices que nous venons de signaler. Nous ne pouvons trop recommander à MM. les officiers d'ar-

Ces métaux peuvent donner au fer cru des propriétés toutes particulières: ils en favorisent l'oxidation lorsqu'il est liquide, lui donnent une couleur plus claire dans sa cassure et changent la texture grenue en un tissu à facettes. Il faut donc éviter le plus possible l'emploi d'une semblable fonte pour la fabrication des objets coulés.

Les *taches de cristallisation* qu'on voit souvent dans l'intérieur des bouches à feu, après qu'elles ont été forées, peuvent se rencontrer aussi dans la meilleure fonte, surtout lorsqu'elle a éprouvé un commencement de décarburation.

898. La fonte du fer rouverin est la moins convenable pour la fabrication des objets coulés, quoiqu'elle se dilate fortement en se solidifiant : mais elle est trop disposée à prendre des soufflures et à devenir caverneuse; elle se refroidit promptement et ne possède jamais une grande liquidité.

La fonte du fer tendre, douée d'une liquidité parfaite qu'elle conserve long-temps, convient particulièrement pour objets moulés : elle peut recevoir les impressions les plus fines, coule tranquillement et ne corrode pas les moules, si on la laisse reposer un instant avant de la verser. Du reste, elle a le défaut d'être cassante; il ne faut donc pas l'employer pour des pièces qui doivent offrir une grande résistance. Cette fonte, lorsqu'elle est blanche, est encore assez liquide pour remplir les moules; mais on ne doit pas la convertir en fer coulé, à cause de son extrême fragilité. Il est arrivé souvent que des projectiles confectionnés avec du fer cru de cette espèce, ont éclaté en sortant de la

---

tillerie chargés de la fabrication des projectiles creux, de laisser reposer dans les poches la fonte un peu grise et très-chaude, surtout quand elle provient de minérais impurs, ce qui est le cas général. Le T.

bouche à feu. La fonte mêlée ou grise obtenue avec des minérais phosphoreux, peut servir pour la fabrication des boulets. Pour ce qui est des projectiles creux, il serait possible qu'ils n'offrissent pas assez de résistance à l'explosion de la poudre, si la fonte était très-cassante. Cette espèce de fer cru est convertie avec avantage en poterie, en poêles, en objets d'ornemens; mais on ne doit pas en couler des machines *.

899. Lorsque le fer cru doit être versé dans les moules sans éprouver une seconde fusion, il faut donc imprimer au fourneau une allure dépendante de la nature des matières qu'on traite et de l'usage auquel l'objet coulé est destiné. On emploie le plus souvent de la fonte mêlée ou de la fonte grise.

900. Nous avons déjà signalé précédemment la différence qui existe entre la fonte grise obtenue de minérais réfractaires, et celle qui est produite par ces minérais rendus plus fusibles et traités dans des ouvrages bas et larges. La première est plus chaude et plus liquide, ne blanchit guère par un refroidissement subit, expulse peu de graphite, contient beaucoup de métaux terreux et présente souvent des cristallisations dans l'intérieur de la masse. La deuxième coule plus lentement, est plus épaisse, se refroidit plus vîte, expulse beaucoup de graphite, et blanchit facilement, surtout vers les bords. mais en grosses pièces, elle offre plus de résistance que la première, si toutefois l'abondance du graphite expulsé ne la rend spongieuse. Il est essentiel de traiter les minérais qui doivent

---

* Les obus et les bombes peuvent se couler avec une fonte moins bonne que celle qui est nécessaire pour la fabrication des boulets, à cause du rebattage; mais nous reviendrons sur cet objet. Le T.

donner de la fonte de moulage, dans des fourneaux pourvus d'ouvrages hauts et rétrécis; afin que la fonte grise soit privée d'une partie de son carbone, et empêchée alors de blanchir sur les arêtes. Il s'ensuit que la forme adoptée en Suède, pour l'intérieur des hauts fourneaux, n'est guères propre à la fabrication de la fonte qui doit servir au moulage.

901. D'un autre côté, on peut admettre, que la ténacité de la *fonte grise* est d'autant moins grande que ce métal a éprouvé une chaleur plus intense dans le haut fourneau. Si les pièces coulées doivent offrir une très-forte résistance, on ne doit pas employer cette espèce de fonte. Celle qu'on obtiendrait par des minérais moins réfractaires et dans des ouvrages moins élevés, serait beaucoup plus tenace et conviendrait infiniment mieux pour ces objets, si elle n'était pas trop grise et qu'elle n'expulsât pas une trop grande quantité de graphite, qui souvent produit des solutions de continuité dans l'intérieur de la masse. Dans certains cas il ne fant donc employer ni l'une ni l'autre des deux espèces de fonte. *Des bouches à feu*, par-exemple, ne peuvent pas être coulées avec de la fonte tout à fait grise, surtout lorsqu'elle provient d'un mélange réfractaire de minérais et de fondant; à cause de la grande quantité de métaux terreux dont cette fonte est toujours chargée. D'un autre côté, il serait bien difficile que par l'emploi même de minérais fusibles, on pût imprimer au haut fourneau une allure telle, que la fonte ne fût ni trop grise, ni trop blanche, ce qui serait également nuisible à sa ténacité, *si elle devait servir à la fabrication des canons*.

En Suède, on remédie à cet inconvénient de la manière suivante: la charge se compose de minérais grillés et de minérais crus; on la dose de manière que la marche du

fourneau soit régulière et le laitier pur; on obtient alors une fonte *faiblement mêlée* composée de fonte blanche lamelleuse, et de fonte grise, semblable par conséquent à la fonte mêlée ordinaire. Il est clair que les deux espèces de minérais, se réduisent à des temps différens, et donnent alors, l'une de la fonte blanche, et l'autre de la fonte grise, qui se trouvent ensuite mélangées dans l'ouvrage. Si les minérais ont été pris en doses convenables, de manière que la fonte grise obtenue soit *faiblement mêlée* (49), elle sera moins poreuse, plus dure et plus tenace que les fontes grises ordinaires. Ce procédé, qui ne peut convenir que pour des minérais fusibles ou rendus tels par le fondant et traités dans des ouvrages d'une faible hauteur, ne présente d'autre avantage que celui de donner un produit constant qu'on serait moins sûr d'obtenir en employant des minérais homogènes.

Pour diminuer la dose de graphite expulsée par la fonte, on suit ailleurs une méthode qui me paraît meilleure que la précédente. On règle la dose de fondant de manière que les minérais soient très-fusibles, et l'on donne au fourneau une charge telle, qu'il produise de la fonte grise; mais deux heures avant la coulée, on introduit dans l'ouvrage une certaine quantité de minérai très-pur : il ne faut pas pour cet effet que le creuset soit tout-à-fait rempli de fer, parce qu'il se forme en peu de temps une grande quantité de laitier qui doit s'écouler avec rapidité, et dont la sortie serait entravée par la tympe, s'il y avait trop de matières dans le foyer. On emploie le minérai en fragmens qui varient entre la grosseur d'un œuf de pigeon et celle d'un œuf de poule, on les fait passer dans le foyer par le trou de la tuyère, ayant soin d'interrompre ces additions de temps à autre : au bout d'un quart d'heure, lorsqu'on a jeté de cette manière quinze à dix-sept kilogrammes de minérais dans l'ouvrage, on voit le laitier s'écouler avec une

grande abondance. Après que cette première erruption s'est calmée, on brasse la fonte dans le creuset avec un ringard; on procède ensuite à une deuxième et plus tard, s'il est nécessaire, à une troisième addition de minérais.

Par le moyen que nous venons d'indiquer, on peut ôter au fer cru la quantité de carbone voulue; le métal devient alors plus tenace, expulse moins de graphite et ne présente pas autant d'endroits spongieux après le refroidissement. Il est inutile d'observer qu'en continuant les additions de minérais on pourrait rendre la fonte entièrement blanche, semblable à celle qui est produite par un dérangement du fourneau.

La fonte obtenue par les additions de minérais jetés dans le creuset, ne ressemble pas entièrement à la fonte grise blanchâtre, donnée par le procédé suédois. Cette dernière est une véritable fonte mêlée, c'est-à-dire un mélange de fonte blanche lamelleuse et de fonte grise; la première au contraire est un mélange de fonte grise et d'une fonte devenue blanche, *par la perte d'une partie de son carbone*, ou bien un mélange de fonte grise et de *fonte aciéreuse*. Au reste, dans l'un et l'autre cas, on a pour but principal de diminuer la trop grande quantité de graphite que le métal expulse par le refroidissement. On conçoit que par les additions de minérais introduits dans le creuset, on est maître de l'opération, on peut la conduire aussi loin qu'on le juge nécessaire, avantage que ne présente pas l'autre méthode. Si la fonte grise était produite par des charges réfractaires, et dans des fourneaux pourvus d'ouvrages très-hauts, il serait inutile qu'on la blanchît par des additions de minérais; parce que cette fonte expulse peu de graphite et que son principal défaut provient des métaux terreux dont elle est surchargée, et dont la dose ne pourrait être diminuée par ce procédé.

La fonte qu'on obtient par des additions de minérais jetés dans le creuset, possède un caractère particulier : elle ne pourrait être produite immédiatement dans les hauts fourneaux, quelle que fût leur forme ou la composition des charges, parce qu'il existe une trop grande différence entre la température à laquelle s'obtient la fonte blanche aciéreuse ou les floss tendres, et celle qui est nécessaire pour la production de la fonte grise : ces deux espèces de fonte dont se compose celle dont il s'agit, ne pourraient donc se former simultanément.

Une addition de carbonate de chaux pure, produirait le même effet qu'une addition de minérai; mais on ne pourrait en faire usage, parce qu'il se formerait un laitier trop visqueux, et qu'on devrait d'ailleurs craindre que l'ouvrage ne fût dégradé, par la présence d'une si grande quantité de chaux.

Ainsi lorsque la fonte doit être employée immédiatement en sortant du haut fourneau, il faut que le mélange de minérais et de fondant soit très-fusible, que l'ouvrage soit haut et que l'allure du fournean soit telle que la fonte devienne grise claire. Si elle expulse trop de graphite, on y remédie par une certaine dose de minérais qu'on jette dans le creuset : on ne doit pas manquer de recourir à ce moyen, lorsque par la nature des minérais on ne peut obtenir de la fonte faiblement mêlée; mais si l'ouvrage est assez haut, on peut dans le plus grand nombre des cas, se dispenser de ce correctif.

902. Il est évident qu'une fonderie se trouve placée le plus avantageusement auprès de hauts fourneaux, parce que la fonte est alors toute préparée pour être versée dans les moules. Mais si l'on était réduit à n'employer que la fonte de première fusion, les objets confectionnés n'auraient pas tous les qualités requises. En ne traitant que

des minérais de fer tendre, on ne pourrait couler des bouches à feu ni des parties de machines exposées à des secousses. En fondant des minérais pyriteux ou de qualité médiocre, on serait obligé de maintenir le fourneau à un haut degré de chaleur, afin d'obtenir de bons résultats dans les feux d'affinerie; mais alors la fonte serait très-grise, poreuse, douce et deviendrait impropre à la confection des choses qui demandent une certaine résistance, ou des objets qui doivent être minces et délicats, parce que leurs angles ne seraient pas assez vifs. Dans beaucoup de cas, il serait d'ailleurs dangereux de refroidir le fourneau surtout si l'on opère au coke.

903. Une fonderie doit continuellement avoir à sa disposition les diverses espèces de fonte propres à tous les articles qui sont demandés par le commerce. On doit donc refondre quelquefois le fer cru, afin de ne pas troubler l'allure du fourneau.

Si l'on se trouve dans une situation assez avantageuse, pour pouvoir convertir la fonte en un certain nombre d'objets dont le débit est assuré, par exemple, en poëles et poterie, on n'a pas besoin de se pourvoir de fonte de seconde fusion, nécessaire dans les usines où l'on veut fabriquer toutes les pièces demandées. Comme on ne peut vider le creuset du haut fourneau que deux fois ou tout au plus trois fois dans les vingt-quatre heures, et que tous les moules doivent être préparés pour le moment de la coulée, on serait obligé de se procurer un matériel immense et très-dispendieux, et une grande quantité de mouleurs, tantôt surchargés de travail et tantôt oisifs, si l'on voulait fabriquer un grand nombre d'objets; une semblable disposition serait donc pleine d'inconvéniens. Si la fabrication ne roulait que sur peu d'articles, il serait facile d'occuper les mouleurs d'une coulée à l'autre,

et de se procurer le matériel nécessaire pour employer toute la fonte du haut fourneau.

904. Si d'un côté les fourneaux d'une grande hauteur procurent une économie de combustible, de l'autre, ils donnent une fonte moins pure que celle qu'on tire de petits fourneaux. Ils se dérangent moins facilement, mais les dérangemens sont plus dangereux. Quand on opère au coke, ou bien sur des minérais fusibles et au charbon de bois, la fonte devient trop grise, ou selon l'expression des ouvriers trop *limailleuse*. Dans le premier cas, on ne pourrait guère améliorer cette fonte par les moyens indiqués au paragraphe 901; parce que son principal défaut provient de la grande quantité de silicium qu'elle renferme. Si cependant elle doit servir pour des objets qui demandent une grande résistance, par exemple pour les bouches à feu, on lui fait subir une seconde fusion, afin de la rendre plus compacte, plus pure et plus tenace.

905. Il existe donc plusieurs raisons qui forcent de refondre le fer cru, lorsqu'on veut le convertir en objets coulés:

1° Pour avoir continuellement de la fonte liquide à sa disposition, afin de ne pas être forcé d'augmenter outre mesure le matériel et le nombre des ouvriers;

2° Pour pouvoir se procurer la fonte qui convient le plus à chaque espèce d'objet qu'on veut mettre en fabrication;

3° Pour pouvoir couler de fortes pièces, qui demandent plus de fonte que le creuset du haut fourneau n'en contient ordinairement. Si dans ce cas on n'a point de foyer particulier pour refondre le fer cru, on est obligé de retenir la fonte dans l'ouvrage; ce qui peut avoir de graves inconvéniens pour les fourneaux à coke. En Suède, où l'on coule souvent des bouches à feu avec de la fonte de

première fusion, on accolle deux fourneaux l'un à l'autre; mais ce moyen n'est pas toujours praticable; et si l'on augmente la capacité du creuset, on dérange toujours la régularité du travail et l'on consomme une plus grande quantité de charbon;

4° Pour construire des fonderies dans le voisinage des villes, des rivières navigables et dans les lieux où l'on ne pourrait établir des hauts fourneaux, quoiqu'il y existe beaucoup de manufactures qui assurent le débit des marchandises.

906. Les fonderies présentent beaucoup d'avantages lorsqu'on peut les joindre aux hauts fourneaux. On est alors à même de se procurer toujours de bonne fonte et d'économiser les frais d'une autre fusion, pour une foule d'objets qu'on peut couler en fonte de haut fourneau sans nuire à leur qualité. Il existe d'ailleurs des marchandises dont le prix est si bas, qu'elles ne pourraient se confectionner avec la fonte de seconde fusion.

Les moyens qu'on emploie pour former et remplir les moules sont les mêmes, soit que le fer cru sorte immédiatement des hauts fourneaux, soit qu'il ait subi une seconde fusion. On les remplit en y dirigeant la fonte liquide par des rigoles, ou bien en la versant avec des poches. Les moules des gros objets doivent être enterrés dans le sable, qui est ensuite damé à l'entour; afin qu'ils puissent offrir plus de résistance à l'effort de la fonte qui tend à les rompre. Ces moules sont donc placés plus bas que le trou de la coulée, qui d'ailleurs est toujours à une certaine hauteur au-dessus du sol de l'usine, pour que les rigoles puissent recevoir une pente convenable.

907. Si d'après cela nous supposons que le fer cru ne soit pas employé en sortant du haut fourneau, nous pour-

rons diviser l'art de la fonderie en deux parties : l'une traitera des procédés qu'on doit suivre pour refondre le métal, et l'autre enseignera les moyens de lui donner les formes voulues.

DE LA REFONTE DU FER CRU.

908. On suit trois méthodes pour mettre le fer cru en liquéfaction : on peut le refondre, soit dans des creusets couverts placés au milieu de charbons embrasés, sur la grille du fourneau à vent; soit dans de petits fourneaux appelés *fourneaux à manche* ou *cubilots*, activés par des soufflets, et dans ce cas, le métal chargé avec le charbon par lits alternatifs, se rassemble, lorsqu'il est liquide, dans la partie inférieure de la cuve; soit dans un four à réverbère pourvu d'une grille sur laquelle se place le combustible, dont la flamme, conduite dans un espace séparé, liquéfie la fonte, qui coule dans une cavité, un creuset pratiqué à l'autre extrémité de la sole.

Ces diverses méthodes modifient plus ou moins les qualités du fer cru.

909. Fondu *dans des creusets*, le fer cru subit le moins de changement, parce qu'il n'est en présence immédiate ni avec le charbon ni avec l'air atmosphérique. Cependant on ne peut empêcher entièrement le contact de ce fluide, à moins de couvrir le métal d'une couche de substances vitrifiables, ce qu'on ne fait pas ordinairement, pour raison d'économie : il faut donc qu'une partie passe à l'état d'oxide.

Dans les cubilots, il arrive quelquefois, surtout immédiatement après la mise en feu, que la fonte grise devient blanche; le phénomène contraire est plus rare : il demande un degré de chaleur qui endommage le fourneau.

Les cendres et les pierres de la cuve mises en fusion, forment une scorie réfractaire qui entraîne une assez grande partie de fer en vitrification, et qui nécessiterait bientôt l'interruption du fondage, si l'on n'ajoutait à la charge un peu de pierre calcaire, pour déterminer la fusion du silicate d'alumine qui se forme par la dégradation de la cuve. Les modifications que subit la fonte dans ces foyers, par la présence du carbone, ne sont pas sensibles. Son grain lorsqu'elle est grise, devient ordinairement plus fin et plus serré. Il paraît que le graphite interposé entre les particules du fer cru, se dissout plus uniformément par une seconde fusion et qu'une partie de ce corps est séparée du fer. Toutes les fontes grises, obtenues avec des minérais fusibles ou rendus tels par le fondant, sont disposées à blanchir sur les bords, étant refondues dans les cubilots; tandis que la fonte grise produite par des minérais réfractaires, reste parfaitement grise et douce à la surface.

Dans les *fours à reverbère*, le métal se trouve exposé entièrement à l'action de l'air. Nous avons déjà parlé des modifications que subit la fonte dans ces foyers de fusion. La fonte grise obtenue avec des charges réfractaires, n'éprouve qu'un faible déchet, ne devient ni plus cassante, ni plus dure; elle acquiert même une plus grande ténacité, lorsqu'on la refond rapidement. Plus on la refond souvent, plus sa couleur s'éclaircit sans pouvoir atteindre cependant celle de la fonte blanche : sa texture reste grenue et ne passe jamais au tissu lamelleux, preuve évidente qu'elle se rapproche du fer affiné. A mesure que sa couleur s'éclaircit, sa densité et sa ténacité vont croissantes, les objets coulés prennent une plus belle apparence, leur surface devient plus nette, et leur dureté, loin de s'accroître, paraît plutôt diminuer. Une semblable fonte de seconde fusion, est un mélange de fonte grise et de fonte aciéreuse; elle ressemble sous

tous les rapports à la fonte qu'on obtient dans les hauts fourneaux par des additions de minérais jetés dans le creuset (901).

La fonte grise obtenue par des matières très-fusibles dans des ouvrages peu élevés, se conduit d'une tout autre manière, étant refondue dans les fours à réverbère : elle commence à blanchir à la première fusion, et sa dureté s'accroît en proportions plus fortes que sa ténacité; elle convient pour la confection de gros objets qui doivent être très-durs, tels que les enclumes, les pilons, les cylindres de compression. On peut en fabriquer aussi des objets qui, sans être résistans, doivent recevoir une belle apparence. Cependant, lorsque cette fonte est très-grise, on peut, sans inconvénient, la refondre *une seule fois* et l'employer alors à la fabrication des pièces qui exigent la plus grande ténacité, par exemple, pour *les bouches à feu* : soumise à plusieurs fusions, elle devient trop fragile.

910. Il résulte, de ce qui précède, qu'on doit régler la nature de la fonte destinée pour une deuxième fusion, non seulement sur les qualités que doit avoir l'objet coulé, mais aussi sur le procédé qu'on veut employer pour opérer la refonte. Les diverses espèces de fontes grises manifestent de si grandes différences par la manière dont elles se conduisent à une seconde fusion, qu'il faut avoir une grande expérience de la chose pour donner aux produits dans tous les cas les qualités requises.

La netteté de la surface est la première condition que doivent remplir les petits objets qu'on fabrique avec du fer cru refondu dans LES CREUSETS; dans ce cas, on a moins égard à la résistance : si d'ailleurs ces objets étaient trop durs, on les adoucirait (153 et 154). La fonte grise seule ne pourrait servir dans ce cas, étant trop poreuse; elle n'offrirait jamais une assez belle surface. La fonte mêlée

convient très-bien; mais il faut lui préférer encore la fonte grise qui, obtenue avec un minérai légèrement réfractaire dans un ouvrage haut et rétréci, a été refondue une ou plusieurs fois dans un four à réverbère, et privée alors d'une partie de son silicium et de son graphite. On peut mêler aussi la fonte qui est restée grise, après une seule fusion au four à réverbère, avec celle qui est devenue blanche par plusieurs fusions opérées dans ce four: c'est même le meilleur mélange qu'on puisse employer pour en fabriquer des objets délicats. On peut aussi se servir de la fonte blanche obtenue par surcharge de minérais, quand on la mêle avec de la fonte grise, pourvu toutefois que les creusets soient exposés à la chaleur la plus intense.

911. La meilleure fonte qu'on puisse employer pour la liquéfier dans LES CUBILOTS, est celle qui a été produite par un mélange légèrement réfractaire de minérais et de fondans et dans des ouvrages hauts et rétrécis; elle n'augmente pas de dureté, lors même que les cubilots sont très-bas; mais lorsqu'elle contient beaucoup de silicium et par suite peu de carbone, elle est réfractaire et doit être chargée en assez faible dose, par rapport au combustible. Obtenue dans des hauts fourneaux à coke, elle reste douce après une deuxième fusion, mais elle ne convient guère pour des objets qui doivent offrir une grande résistance; d'un autre côté, n'étant point disposée à blanchir, ni à la surface, ni sur les arêtes, cette fonte possède le degré de ténacité nécessaire pour presque toutes les pièces, *les bouches à feu exceptées.*

912. Le fer cru qu'on veut refondre dans *les fours à réverbère,* doit, dans le plus grand nombre des cas, être produit par des charges peu fusibles et dans des ouvrages hauts et rétrécis. La fonte mêlée et la fonte grise qu'on

obtient dans des ouvrages bas, contiennent trop de carbone et sont pour cette raison trop disposées à blanchir par une seconde fusion. Il existe des fontes grises qu'on ne peut pas liquéfier dans des fours à réverbère mal construits, sans les blanchir entièrement; d'autres peuvent être liquéfiées une seule fois, d'autres enfin peuvent l'être trois ou quatre fois, sans perdre leurs propriétés caractéristiques. La fonte grise obtenue dans des ouvrages hauts et rétrécis, par un mélange très-réfractaire de minérais et de fondant, se liquéfie parfaitement dans les fours à réverbère, et l'on pourrait dire qu'elle convient d'autant mieux pour la fabrication des objets coulés, qu'elle a été refondue un plus grand nombre de fois; mais, n'acquérant jamais une très-grande ténacité, elle ne doit pas être employée pour la confection des bouches à feu. Celle qui convient le mieux pour cet objet, c'est la fonte produite par des minérais fusibles, dans des hauts fourneaux pourvus d'ouvrages élevés et rétrécis. Cependant on ne doit la refondre dans le four à réverbère qu'une ou tout au plus deux fois. Toutes les fontes perdent par cette opération une partie de leur graphite et de leur silicium *.

* En résumant, on voit:

1° Que la fonte *entièrement grise* obtenue avec un mélange très-fusible de minérais et de fondans, ne peut s'employer avantageusement qu'après avoir été privée d'une partie de son carbone, soit par des minérais jetés dans le creuset, soit par une seconde fusion effectuée rapidement dans le four à réverbère. Cette fonte est alors très-tenace et convient particulièrement à la fabrication des bouches à feu; mais on ne doit la refondre qu'une seule fois;

2° Que la fonte qui doit être refondue dans des creusets pour servir à la fabrication de petits objets de luxe, est celle qui, obtenue par un mélange un peu réfractaire de minérais et de fondans, a été refondue plusieurs fois et presque blanchie dans des fourneaux à réverbère; qu'on peut employer aussi pour ces objets cette fonte restée grise dans les fours à réverbère, pourvu qu'on la mêle avec celle qui a été blanchie

913. Il faut donc qu'une bonne fonderie puisse disposer à la fois d'un haut fourneau, de fourneaux à vent, de cubilots et de fours à réverbère. Les creusets qui ne servent qu'à liquéfier de petites quantités de fer, pour la fabrication des objets de quincaillerie, des boutons, des boucles, des médailles, etc., etc., ne s'emploient que dans le cas où les cubilots ne sont pas en activité. La fonte tirée de ces derniers peut servir du reste à la fabrication de presque toutes les pièces; ces foyers offrent d'ailleurs l'avantage de fournir presqu'à tous les instans de la fonte liquide, et d'occuper par conséquent les mouleurs, sans qu'on ait besoin de se pourvoir d'une si grande quantité de modèles et de châssis.

Les fours à réverbère sont indispensables lorsqu'on veut couler de gros objets qui exigent beaucoup de fonte, et ceux qui doivent être durs, tenaces et compactes. Quand ces foyers sont construits de manière que la fonte liquide puisse se puiser avec la poche, ils remplacent les fourneaux à manche.

DE LA REFONTE DU FER CRU DANS DES CREUSETS.

914. La liquéfaction de la fonte dans des creusets, est une opération très-simple, qu'on peut exécuter facilement et partout où l'on dispose d'une cheminée. Les Fig. 1 et 2 Pl. VIII représentent la coupe et l'élévation d'un fourneau à vent, composée d'une cuve (A) de 64 centim. de hauteur,

---

entièrement dans ces foyers par plusieurs fusions; de plus qu'on peut se servir de la fonte blanche obtenue par surcharge de minérais, mélangée avec de la fonte grise ordinaire.

3° Que le fer cru qu'on doit refondre dans les cubilots ainsi que dans les fours à réverbère, est la fonte très-grise, obtenue avec un mélange un peu réfractaire de minérais et de fondans. C'est celle qui convient le mieux pour la plupart des objets, *les bouches à feu exceptées.* Le T.

de forme prismatique ou cylindrique, pourvue d'une grille B et fermée au-dessus par une plaque C, qui a une position inclinée à l'horizon, et qui est percée d'une ouverture, par laquelle on peut introduire dans le foyer les creusets remplis de fonte, les disposer sur la grille et les retirer après que la fusion est achevée.

Aussitôt que le creuset est placé, on ferme l'ouverture avec une plaque de fonte qui se meut en tiroir, et l'on fait passer la fumée dans la cheminée E, par le canal incliné D qu'on appelle le *rampant*. On arrive au cendrier F par une porte pratiquée dans la face antérieure du mur, immédiatement au-dessous de la grille; c'est à l'aide de cette porte qu'on peut gouverner le feu, augmenter ou diminuer le tirage. Le rapport des dimensions de l'ouverture du cendrier, à la surface de la grille, à la hauteur la cheminée et à la qualité du combustible, ne peut être déterminé que par l'expérience. L'air doit passer sous la grille avec une certaine vitesse; si l'ouverture qui sert à établir le courant d'air est trop grande, une partie des charbons brûlent sans développer le maximum de chaleur; si elle est trop petite, la combustion n'est pas assez active. Pour mieux régler le tirage, on place à l'entrée du rampant D, plusieurs briques minces dont on peut varier le nombre de couches pour accélérer ou retarder à volonté le dégagement de la fumée et de la chaleur. Le courant sera le plus rapide possible, si en fermant la porte du cendrier, on met la grille en communication immédiate avec l'air extérieur, à l'aide d'un conduit ou porte-vent. Pour produire un degré de chaleur extraordinaire, on dirige sous la grille, et en fermant le cendrier, le courant d'air d'une machine soufflante.

915. Le nombre des creusets qui peuvent être chauffés à la fois, dépend de leurs dimensions et de celles du four-

neau. Les creusets se placent sur des supports réfractaires de 75 à 100 millim. d'épaisseur, afin qu'ils ne soient ni refroidis par le contact immédiat du courant d'air ni exposés à se briser, et afin qu'ils puissent se chauffer plus uniformément.

916. Les creusets sont confectionnés soit avec de l'argile réfractaire, tels que les creusets de Hesse, soit avec du graphite, comme les creusets d'Ips. Ces derniers sont les plus coûteux ; mais on doit les préférer aux premiers : le fer s'y trouve mieux garanti contre l'oxidation, ce qui diminue le déchet. Des creusets de bonne qualité résistent à plusieurs fondages. Ils ne contiennent jamais au-delà de 10 à 15 kilog. de fonte ; s'ils pouvaient en renfermer davantage, ils cesseraient d'être maniables, et soumis à un haut degré de chaleur, ils seraient trop exposés à se fendre.

917. On peut se servir pour combustible, du charbon de bois ou du coke. Si l'on fait usage du premier, il faut donner aux fourneaux plus de 64 centim. de hauteur, et il faut d'ailleurs remplacer ce combustible par de nouvelles charges à mesure qu'il descend, ce qui augmente considérablement les frais de l'opération ; on ne doit donc l'employer que dans les pays où le bois a peu de valeur. Il parait que 100 kilog. de fonte demanderaient pour être liquéfiés, 5,2 à 6^{mcub},6 de charbon végétal, c'est-à-dire 6 à 7 fois autant qu'il en faut, terme moyen, pour la préparation du fer cru dans les hauts fourneaux.

L'emploi du coke est bien plus avantageux que celui du charbon de bois. Cependant, d'après les méthodes imparfaites suivies jusqu'à présent, on brûle pour refondre 100 kilog. de fer cru, 0,7 à 1 mètre cube de coke. Au reste, on ne peut en déterminer la consommation d'une manière

bien précise, parce qu'elle n'est pas en proportion avec la capacité des creusets ni avec le poids de la fonte qu'ils contiennent. Si l'opération se faisait en grand et que les fourneaux fussent construits à l'instar de ceux qui servent à liquéfier le cuivre jaune, on fondrait plus de métal à la fois, sans brûler plus de charbon.

Si l'on trouvait un débit considérable de petits objets de fer coulé, dans un endroit où pour une raison quelconque on ne pourrait établir ni fourneau à manche ni four à réverbère, on pourrait liquéfier la fonte dans un fourneau à vent, semblable à ceux qui servent à fondre le bronze.

918. Dans les fourneaux qui peuvent contenir deux creusets, on brûle beaucoup de charbon inutilement, surtout dans les coins de la cuve. On doit donc resserrer cette dernière le plus possible, la rendre plutôt ronde que carrée, et employer toujours trois creusets ou bien un seul qui ait de grandes dimensions.

919. Le fer cru doit recevoir un haut degré de chaleur, afin qu'il devienne parfaitement liquide et qu'il n'en reste pas une trop grande quantité attachée aux parois des creusets. On ferme ordinairement ces vases avec le fond d'un vieux creuset; mais ce couvercle, qui suffit pour empêcher le combustible de se mêler avec le métal, ne peut préserver ce dernier du contact de l'air atmosphérique. L'oxidation qui en résulte augmente avec le temps qu'on emploie pour mettre la fonte en fusion; parce que, à l'état solide, elle présente beaucoup de surface: c'est une raison de concasser le fer cru en petits morceaux pour en hâter la liquéfaction. On diminuerait le déchet en chargeant la fonte dans des creusets rouges de feu, mais il en résulterait une trop grande consommation de char-

bon, il vaut donc mieux couvrir le fer avec de la poussière de charbon très-pure, si l'emploi d'un flux vitrifiable est dispendieux.

920. Bien que la fonte mêlée, et la blanche entrent en fusion à un degré de chaleur assez bas, on doit les soumettre à la plus haute température quand on les refond dans les creusets, pour empêcher qu'elles ne se figent trop vite et qu'en s'attachant aux parois du vase elles n'occasionnent un déchet considérable. La fonte grise obtenue par des minérais réfractaires et dans des ouvrages élevés, exige un plus haut degré de chaleur pour entrer en fusion; mais elle acquiert tout de suite une grande liquidité qu'elle conserve long-temps: liquéfiée plusieurs fois dans les fours à réverbère et devenue presque blanche, elle se conduit d'une manière analogue. Cette fonte blanche grisâtre, est encore plus réfractaire que les fontes grises, mais elle devient très-liquide, se congèle avec la plus grande lenteur, et convient parfaitement pour être refondue dans les creusets, d'autant plus qu'elle est susceptible de recevoir une très-belle surface. Le fer cru le plus mauvais pour cet objet, c'est la fonte blanche grenue obtenue dans les fourneaux à coke par défaut de chaleur; elle est réfractaire, reste épaisse et remplit les moules imparfaitement.

921. On devrait croire que le fer cru, refondu rapidement et couvert de poussière de charbon, ne subit pas un déchet considérable. Ce déchet est néanmoins de 25 à 33 pour cent; mais la plus grande partie de cette perte doit être attribuée au fer répandu dans l'usine, mêlé avec les scories et attaché aux parois des creusets. La partie du métal entrée en vitrification ne devrait jamais s'élever au-dessus de 5 pour cent. Pour la diminuer autant qu'il est possible, on doit nettoyer les morceaux de fonte, enlever

la terre et les grains de sable qui peuvent être attachés à leur surface. La plus grande perte résulte d'une dispersion de métal qu'il est impossible d'éviter.

Le déchet de la fonte blanche serait encore plus considérable, si l'on négligeait d'employer un très-haut degré de température.

922. On peut proportionner la quantité de combustible chargé dans le fourneau, au poids de la fonte que l'on veut mettre en fusion, pour ne pas occasionner une dépense inutile, et pour produire cependant le degré de chaleur convenable; mais il faut exercer une surveillance très-active; car les ouvriers qui, d'ordinaire sont très-négligens, se soumettent difficilement à ces sortes de considérations. On doit préférer pour cette raison des fourneaux étroits et hauts, plutôt que larges, afin qu'il soit plus facile d'en régler le chargement. Dans ce cas, on brise les cokes, pour ne les employer qu'en fragmens qui aient au plus deux pouces cubes de volume; parce que les gros morceaux laissent entre eux de trop grands interstices et que l'air froid, frappant alors les creusets, peut en déterminer la rupture ou du moins retarder la liquéfaction de la fonte.

923. Il résulte de ce qu'on vient de dire, que les procédés qu'on suit pour liquéfier la fonte dans des creusets, sont extrêmement simples; mais l'achat de ces vases, la consommation du charbon et le déchet de la fonte, les rendent très-dispendieux: on ne peut donc fabriquer de cette manière que de très-petits objets. Des marchandises d'un poids plus considérable et dont le prix n'est pas assez élevé, ne peuvent supporter ces dépenses qui surpassent deux fois la valeur de la fonte. On ne pourrait d'ailleurs refondre dans les creusets une grande quantité de fer cru, par les raisons que nous avons citées au paragraphe 916.

DE LA REFONTE DU FER CRU DANS DES FOURNEAUX A CUVE.

924. D'après le témoignage de Réaumur, on se servait déjà de creusets, au commencement du siècle dernier. Ces creusets étaient placés le plus souvent devant la tuyère d'un feu de maréchal, comme ceux qui servent à faire des essais. On brûlait de cette manière peu de charbon; mais on ne pouvait liquéfier que 1 ou 2 kilog. de fer dans un de ces vaisseaux qui, pour chauffer uniformément, ne pouvaient avoir qu'une faible capacité.

On fit usage en France, à la même époque, de petits fourneaux portatifs de 16 à 24 pouces de hauteur et de 6 à 9 pouces de diamètre. Activés par plusieurs soufflets à main, ils ne purent liquéfier que de petits morceaux de fonte stratifiés avec le charbon. Ces fourneaux faits en argile réfractaire se composaient de deux pièces principales, dont l'une de forme conique était la cuve, et l'autre le creuset, appelé aussi la poche, où la matière liquide se rassemblait: elles s'ajustaient parfaitement ensemble; leur jointure, où l'on pratiquait le trou qui donnait entrée au courant d'air, était lutée. Tous les creusets et même les vieux pots, pourvu qu'ils fussent solides et réfractaires, pouvaient servir comme poche, et la partie supérieure se construisait avec des débris de creusets, dont les pièces annulaires posées l'une sur l'autre, étaient liées ensemble avec de l'argile.

Pour fondre dans ces fourneaux, on plaçait la partie inférieure sur un châssis en fer pourvu d'une anse mobile, qu'on pouvait lever ou abattre. Après avoir placé la cuve sur le creuset, on y jetait d'abord quelques charbons incandescens; on remplissait ensuite tout le fourneau de ce combustible, et l'on faisait agir les soufflets. A mesure que le charbon descendait, on introduisait de nouvelles

charges dans la cuve, jusqu'à ce que les parois extérieures fussent rouges de feu. C'est alors seulement qu'on chargeait le métal concassé en petits fragmens. On faisait varier le poids des charges d'après l'aspect de la tuyère; si les matières vues à travers ce trou étaient très-blanches, on augmentait la dose de fer cru; on la diminuait, si la couleur inclinait au rouge. La fonte se figeait quelquefois dans le creuset, et alors on avait beaucoup de peines à la remettre en fusion. Lorsqu'on s'apercevait que toute la poche était remplie, le fondeur laissait descendre les charges, enlevait la cuve, retirait les scories de la fonte, soulevait par l'anse toute la partie inférieure y compris le châssis, et versait le métal dans les moules.

On perfectionna ces fourneaux en composant la cuve et la partie inférieure, de carcasses en fer forgé, dont les vides furent remplis avec de l'argile réfractaire. La cuve put supporter alors un grand nombre de fondages, et l'on n'eut plus qu'à réparer la poche de temps à autre.

En détachant la cuve du creuset, on perdait du temps et le fourneau se refroidissait. Réaumur imagina donc pour cette raison, de ne séparer les deux parties qu'en cas de réparation. Il pratiqua dans le fourneau, à la hauteur et vis-à-vis de la tuyère, un trou qu'on bouchait pendant le fondage, et qui servait à l'écoulement de la fonte lorsque le creuset se trouvait rempli. Le fourneau suspendu verticalement sur deux tourillons mobiles, placés dans des crapaudines, pouvait alors recevoir une position inclinée, pour verser toute la fonte dans les moules; avant de le renverser, on débouchait le trou de la coulée. Les fourneaux de grandes dimensions, proposés par Grignon n'ont pas été mis en exécution.

925. Les dimensions des fourneaux de Réaumur ont augmenté successivement jusqu'à ce que leur hauteur ait

été portée à 3 mètres. Au lieu de les renverser, on a fini par faire le trou de la coulée au niveau de la sole, de sorte que la fonte peut s'écouler sans qu'il soit nécessaire d'incliner le foyer à l'horizon; ce qui est un avantage incontestable, d'autant plus qu'on n'est plus forcé d'interrompre le fondage pour procéder à la coulée. Il est vrai qu'on a donné de si grandes dimensions à ces foyers, que le creuset peut contenir plus de 500 kilog. de fonte; l'interruption du travail pendant la coulée serait donc peu de chose. Mais il ne serait pas moins vrai que pour remettre le fourneau en activité, il faudrait le remplir de combustible, ce qui occasionnerait une dépense qu'on épargne avec les fourneaux immobiles.

Le refroidissement du foyer, suite inévitable de la cessation du fondage, doit favoriser aussi l'oxidation du fer et augmenter le déchet de la fonte dans les fourneaux mobiles.

Les moyens qu'on emploie pour suspendre et manœuvrer les fourneaux mobiles, deviennent plus compliqués et plus dispendieux, à mesure qu'on en augmente les dimensions. Il est essentiel que l'axe des tourillons passe par le centre de gravité. L'enveloppe extérieure, y compris le fond, se compose d'un système de plaques en fonte dont l'ensemble a une forme arrondie comme celle d'un œuf; c'est dans cette enveloppe creuse que l'on construit le fourneau avec des pierres réfractaires, de la même façon que le cubilot qui est immobile: l'un et l'autre sont activés aussi de la même manière.

926. Les fourneaux à manches, mobiles autour de leurs tourillons, se trouvent encore fréquemment en Suède; mais on les remplace peu à peu par les cubilots ordinaires. Voici la description d'un fourneau de cette espèce employé à Oefverrum. Une enveloppe de tôle épaisse, de la forme

d'un tonneau, contient la maçonnerie réfractaire qui forme la cuve (Pl. VIII, Fig. 3, 4 et 5). Le vent est donné par deux tuyères opposées; l'enveloppe extérieure se compose de douze feuilles de tôle d'une ligne et demie d'épaisseur; les deux diamètres extrêmes sont plus petits que le diamètre mesuré au milieu de la hauteur du fourneau.

Le gueulard est pourvu d'un rebord qui empêche le combustible et la fonte de tomber dans l'usine.

Deux grosses pièces de fer *abb*, en forme de fourchette, retiennent deux barres *c*, *c*, qui, régnant sous la plaque de fond, servent à la consolider; c'est aussi aux deux fourchettes que sont adaptés les tourillons. Le point de suspension est à un pouce au-dessous du centre de gravité, dont la position se calcule au moment où le creuset est rempli de fonte. Les tuyères sont placées entre les branches des fourchettes. Le devant du fourneau est pourvu de deux ouvertures: l'une (*f*) sert pour la coulée; au moyen de l'autre qui est au niveau de la sole, on pénètre dans le fourneau pour le nettoyer et pour y faire des réparations qui deviennent nécessaires. Les pièces de support *h* sont quelquefois en fonte, quelquefois aussi en fer forgé; leur hauteur est telle que le fond du fourneau se trouve à $0^{m},24$ de terre. Un levier K de deux à trois mètres de longueur, s'appuyant contre un crochet pendant le fondage, sert pour la manœuvre du fourneau; anciennement on employait pour cet effet un cric.

On place ordinairement, sous une même cheminée, deux fourneaux de cette espèce activés alternativement. La cuve se construit en pierres réfractaires: quoique le fourneau ne soit activé que pendant le jour, il est rare que cette maçonnerie résiste pendant plus d'une semaine sans avoir besoin de réparations.

La hauteur de ces fourneaux est de 2,43 mètres. Pour construire la cuve, on met d'abord deux couches de

pierre argileuse sur le fond, de manière que la distance des tuyères à la sole soit de $0^m,36$ à $0^m,40$ ou tout au plus de $0^m,46$. On élève ensuite cette maçonnerie intérieure; en sorte que la cuve ait $0^m,46$ de diamètre au fond, $0^m,78$ entre les tuyères, et $0^m,62$ à $0^m,64$ au gueulard. Il arrive très-fréquemment que le fourneau rougit extérieurement, parce que les pierres de la cuve sont en contact immédiat avec l'enveloppe en tôle.

Le creuset peut contenir quatre à cinq quintaux métriques de fonte, les tuyères sont en tôle, leur bouche a $0^m,04$ de diamètre, leur élévation au-dessus du trou de la coulée est de $0^m,08$. On les avance quelquefois dans le fourneau de $0^m,04$ à $0^m,05$ et on les enveloppe d'argile, pour en prévenir la trop prompte destruction. Elles ne sont pas toutes les deux sur le même niveau, l'une est ordinairement de $0^m,02$ à $0^m,03$ plus basse que l'autre. On les fait plonger un peu, pour empêcher que la fonte grise ne devienne blanche; mais si le plongement était considérable on produirait un effet opposé. Les buses sont aussi en tôle, on peut les enlever avec facilité, lorsqu'on veut incliner le fourneau. On active ces foyers avec les machines soufflantes des hauts fourneaux, et l'on admet en général qu'un fourneau de cette espèce exige autant d'air qu'un feu d'affinerie.

Au-dessous du trou de la coulée (*f*) sont deux crochets (*m*) qui servent à recevoir une rigole garnie d'argile et destinée à conduire le métal liquide dans les cuillers ou poches. La fonte est toujours bien douce et bien grise; on peut l'attribuer en partie à la forme de la cuve, qui est plus rétrécie au gueulard et au creuset, qu'elle ne l'est vers le milieu de sa hauteur.

On refond dans ces fourneaux de la brocaille, c'est-à-dire des jets, de la poterie brisée, etc.; de la fonte de bocard, de la limaille de fonte, provenant du forage des

bouches à feu, toutes sortes de ferailles et enfin de la fonte grise, qui mérite la préférence sous tous les rapports. Cependant la feraille ajoutée à la charge rend le métal plus tenace, si toutefois le fourneau est pénétré d'un haut degré de chaleur; dans le cas contraire elle ferait blanchir la fonte. On n'en ajoute jamais à la charge au-delà d'un huitième; on la réserve d'ailleurs pour les objets qui doivent être doués d'une grande ténacité.

Les charbons dont on fait usage dans ces foyers, proviennent du bois de pin ou de sapin; mais on les choisit avec beaucoup de soin.

Quand on veut activer le fourneau, on le remplit de charbon; lorsque le feu se montre au gueulard, on laisse passer une ou deux charges de charbon sans fonte, on ajoute ensuite au combustible $2^k,25$ de fer cru, on augmente cette charge jusqu'à 13^k, et quelquefois même jusqu'à 17. Lorsque la fonte qu'on introduit dans le fourneau est blanche et qu'on veut la rendre grise, on diminue la charge de 4 à 5 kilog.

La charge du combustible est ordinairement d'un demi-hectolitre; pendant le fondage on retire assez souvent de petites quantités de fonte du creuset, pour servir d'épreuve; on augmente ensuite ou l'on diminue la charge de métal selon l'aspect de la fonte liquide. On a soin d'enlever du bain les scories qui le recouvrent. On fait passer par heure six, et au plus huit charges, de sorte qu'on n'obtient par tournée de six heures que 5 à 7 quintaux métriques de fonte. La première coulée s'effectue ordinairement huit heures après la mise en feu; au bout de six heures, on fait la deuxième, et au bout de cinq heures ensuite la troisième. La coulée suivante arriverait plus vite si l'on continuait le travail pendant la nuit, ce qui n'est pas ordinaire.

Avant de procéder à la coulée, on laisse un peu des-

cendre la dernière charge, parce qu'on est obligé d'incliner le fourneau, et l'on enlève d'abord le laitier qui nage sur le bain. Lorsque toute la fonte s'est écoulée; on nettoie le creuset, on remplit tout le fourneau de charbon, et l'on continue le travail comme de coutume. Le déchet varie de cinq à neuf pour cent, lorsqu'on refond du fer cru de bonne qualité; mais quand on charge de la limaille, de vieux barreaux de grilles, etc., ce déchet s'élève quelquefois jusqu'à vingt pour cent. La consommation de charbon est de 5 à 6 hect. par 100 kil. de fonte.

927. Le fourneau immobile, Pl. VIII, Fig. 6, repose sur des fondations (A) de 55 à 65 cent. de hauteur, pourvues d'un canal, pour le dégagement des vapeurs aqueuses, et terminées ordinairement par une plaque de fonte qui porte un rebord auquel on fixe les plaques latérales ou le cylindre *cc*. Cette plaque de fond, a une forme annulaire, étant percée au centre d'un trou dont le diamètre est égal à celui de la cuve. L'extrémité supérieure du fourneau est terminée par une plaque semblable, composée le plus souvent de quatre pièces, et dont le rebord sert à retenir les plaques verticales jointes aussi entre elles par des rebords *i*. Peu importe au reste la manière de revêtir le fourneau extérieurement. On lui donne une enveloppe en fonte plutôt qu'en pierres, afin qu'il prenne moins de place dans l'usine. Cette enveloppe peut donc se construire avec de vieilles plaques d'une forme quelconque, pourvu qu'on parvienne à les réunir solidement avec des crampons et des barres de fer. Si l'emplacement le permet, on construit la partie inférieure de l'enveloppe en pierres, sur lesquelles on appuie les plaques. Cependant la meilleure espèce de construction est celle que nous venons d'indiquer (Fig. 6 et 7); parce qu'il est facile d'ôter une ou plusieurs plaques verticales, lorsque les réparations l'exigent.

928. C'est dans cette enveloppe que l'on construit le fourneau avec des briques réfractaires (Fig. 6 et 7). On remplit l'espace qui reste entre les briques et les parois, avec du poussier ou des cendres, pour diminuer les pertes de chaleur. La sole F, confectionnée avec un mélange de terre réfractaire et de sable quartzeux très-pur, reçoit une inclinaison vers le trou de la coulée; afin que la matière liquide puisse s'écouler entièrement. L'élévation de la tuyère au-dessus de la sole est de 40 à 52 centimètres. Le trou de la coulée a 32 centimètres de largeur sur 40 de hauteur; on lui donne de si fortes dimensions, parce qu'on est obligé de se servir de cette ouverture pour damer la sole et pour faire sortir les scories après avoir coulé la fonte; on la mure ensuite en ne laissant au point le plus bas, qu'une petite ouverture circulaire qu'on ferme avec un bouchon d'argile. Dans quelques usines, on donne aux creusets des cubilots, la forme des creusets de hauts fourneaux, on remplit l'avant-creuset de charbons incandescens et on le couvre avec une plaque de fonte: lorsque le creuset est plein de matière liquide, on enlève la plaque, on retire les charbons et l'on puise la fonte avec des poches.

929. La hauteur et la largeur de la cuve du fourneau dépendent de la force du vent et de la qualité du combustible. Il est probable du reste qu'il règne beaucoup d'arbitraire dans les dimensions du vide intérieur de ces foyers, à cause de la facilité avec laquelle on liquéfie le fer cru. On peut conclure de ce qui a été dit sur la forme des hauts fourneaux, que les cuves qui sont basses, doivent consommer plus de charbon que celles dont la hauteur est plus considérable; parce que la fonte y est moins préparée, en arrivant au foyer de la fusion. Il est probable aussi qu'un ventre analogue à celui des

hauts fourneaux, produirait un effet salutaire, surtout si l'on faisait usage d'un coke pesant; mais la construction de l'enveloppe deviendrait plus embarrassante. Il est aussi très-évident qu'on devrait donner aux cuves, la forme d'un tronc de cône posé sur la base, plutôt que celle d'un cylindre ou d'un cône posé sur sa troncature.

930. Les fourneaux à manche qu'on chauffe avec du charbon de bois, doivent être plus hauts que ceux dans lesquels on brûle du coke; ce qui paraît contraire à notre théorie sur la construction des hauts fourneaux; mais on peut s'en rendre raison par le poids de la fonte : elle déplace facilement le charbon de bois et arrive souvent froide dans la partie inférieure de la cuve; tandis que les charbons brûlés bien au-dessus de la tuyère ne peuvent produire tout leur effet. La hauteur du fourneau doit donc augmenter à mesure que la pesanteur spécifique du combustible diminue. Les Fig. 6 et 7 représentent un cubilot des forges de Sayner près Coblentz. La hauteur est de $1^{m},90$; on emploie pour combustible le coke. Dans des cubilots dont la hauteur serait seulement de $1^{m},30$ à $1^{m}60$, la fusion de la fonte, chargée en fragmens minces s'effectuerait encore très-bien, si le coke un peu boursoufflé, était du reste de bonne qualité. Mais, si l'on charge le fer cru en gros morceaux et qu'on emploie des cokes très-boursoufflés qui d'ordinaire sont légers, le métal déplace le combustible et la fonte devient épaisse. En général les cuves des cubilots ne devraient pas avoir moins de $1^{m},90$ de hauteur; si on l'augmente davantage, le chargement devient plus incommode et le déchet qu'éprouve le coke par le maniement, pourrait quelquefois compenser l'économie de combustible qui résulterait d'une plus grande élévation. Cependant, si les autres circonstances le permettent, on ne doit pas manquer d'augmenter leur hauteur.

Les fourneaux chauffés avec du charbon de bois ne devraient pas avoir moins de 2^{m},30 de hauteur, pour que la fonte pût devenir assez liquide; et une plus grande hauteur offrirait un avantage incontestable. La Fig. 8 représente un fourneau de 4 mètres d'élévation construit à St-Pétersbourg et alimenté avec du charbon de bois. Ces fourneaux doivent être pourvus au gueulard d'une plate-forme, avec laquelle on communique à l'aide d'une rampe ou d'un escalier.

931. La largeur des cuves dépend de la quantité de vent, de la qualité du combustible et de celle de matériaux employés à la construction.

Plus la cuve est étroite à l'endroit de la tuyère, plus on économise de charbon : il faut la rétrécir, si les soufflets fournissent peu de vent et si le combustible est léger. Au reste, l'oxidation du métal sera d'autant moins forte, et les parois résisteront d'autant mieux à l'action de la chaleur, que la cuve sera plus large. La distance de la pierre de tuyère au contre-vent est ordinairement de 48 à 58 centim. On la fait si grande, soit pour ménager la cuve, soit pour donner une plus grande capacité au creuset. On parviendrait au même but en élargissant le creuset au-dessous de la tuyère; mais on risquerait que la fonte ne s'épaissît alors, à moins qu'on n'employât du coke très-dur, et de fortes machines soufflantes.

Pour donner la meilleure forme à la cuve, on devrait donc la rétrécir le plus possible à l'endroit de la tuyère*, l'élargir graduellement, en faisant un ventre au milieu de sa hauteur, et, partant de ce point, diminuer ensuite

* Eu égard à la quantité de métal que l'on veut rassembler dans le creuset. Le T.

la largeur jusqu'au gueulard dont le diamètre ne devrait point excéder 32 centimètres. Lorsqu'on refond de la fonte grise très-fusible, ou peu chargée de silicium, et qu'on donne le vent par deux tuyères, la cuve peut avoir 75 à 95 centimètres de diamètre.

932. Rien ne détermine d'une manière rigoureuse la hauteur de la tuyère au-dessus de la sole; cependant on ne doit pas la rendre trop grande, afin de ne pas refroidir la fonte liquide et de ne pas trop diminuer, dans les petits fourneaux, la distance de la tuyère au gueulard. Si la machine soufflante est forte et que les cokes soient compactes, l'élévation de la tuyère au-dessus de la sole peut avoir 50 à 58 centimètres; dans le cas opposé, elle ne doit pas être fixée au-dessus de 25.

Lorsque le creuset est rempli d'une fonte bien chaude, on ne doit pas en craindre le refroidissement. Pour rassembler par conséquent une grande quantité de métal liquide dans le fourneau, on a imaginé d'employer deux tuyères placées l'une au-dessus de l'autre, et espacées de 25 à 30 centimètres; ou quatre tuyères, si le fourneau est construit de manière qu'il doive en avoir deux à la même hauteur. L'élévation de la tuyère supérieure au-dessus de la sole est alors de 68 à 75 centimètres, ce qui donne au creuset une capacité suffisante pour contenir huit à dix quintaux métriques de fer cru. La tuyère supérieure ne s'ouvre que lorsque la fonte liquide s'élève jusqu'à la tuyère d'en bas, qu'on bouche alors avec de l'argile. Après la coulée, on ferme celle qui est en haut, et l'on replace la buse dans l'autre. La Fig. 9 représente un fourneau de cette espèce activé au charbon de bois, et employé dans la fonderie de Baird, près de St-Pétersbourg. Dans les fonderies de Londres on emploie des cubilots qui ont $2^m,15$ de hauteur, $0^m,90$ de largeur, et qui sont pourvus

de quatre tuyères placées l'une au-dessus de l'autre, en sorte qu'on peut retenir dans le foyer 3500 kilog. de fonte. Il existe des cubilots qu'on peut transporter au moment de la coulée d'un lieu à un autre, dans l'intérieur de la fonderie.

933. On ne se sert que de tuyères d'argile ou de fonte; leurs bouches sont proportionnées à celles des buses, qui, à leur tour dépendent de la masse d'air fournie par la machine soufflante, et de la vitesse du vent exigée par le combustible. Plus elles sont larges, si toutefois le vent conserve la pression convenable, plus on accélère l'opération; mais il faut aussi que la hauteur du fourneau soit dans un certain rapport avec la rapidité de la descente des charges, afin que le métal soit suffisamment préparé en arrivant au foyer de la fusion. Les cubilots dont nous avons parlé précédemment exigent 12 à 15 mètres cubes d'air par minute. Si le coke est léger, on peut activer un cubilot avec 7 $\frac{1}{2}$ à 9 mètres cubes d'air par minute.

934. Un vent dont la vitesse est trop grande, déplace le charbon, en consume une trop grande quantité dans la partie supérieure de la cuve, et blanchit la fonte, dont le tissu devient quelquefois grenu, parce qu'elle se rapproche du fer malléable: il en résulte des engorgemens, des descentes irrégulières et un encombrement de métal demi-fondu.

Un vent trop faible, lorsque la cuve est large, ne donne pas assez de chaleur, et il blanchit la fonte, qui peut devenir alors si épaisse, qu'elle cesse de s'écouler du fourneau. Ce vent ne peut d'ailleurs s'élever à travers les matières et il dégrade le creuset.

Il faut donc que, dans les fourneaux à manche comme dans les hauts fourneaux, la *vitesse* du vent soit pro-

portionnée à la qualité du combustible. Si, tout en observant ce principe, on lance dans le foyer une plus grande masse d'air, on élève la température, on accélère la descente des charges et l'on peut alors donner plus de largeur à la cuve.

Lorsque la cuve est trop large, on est forcé de donner au courant d'air une vitesse trop grande, eu égard à la qualité du combustible. Il s'ensuit que l'opération ne peut être couronnée d'un plein succès que dans les foyers étroits; mais ceux-ci sont sujets à se dégrader promptement et ils ne peuvent contenir assez de métal. Il faut donc employer deux tuyères opposées, c'est l'unique moyen de remédier à l'un et à l'autre inconvénient.

935. Dans les usines travaillant en sablerie, où l'on n'a ni fourneau à manche, ni four à réverbère, on est forcé de refondre les débris de fer cru dans les hauts fourneaux. On en ajoute alors 10 à 25 livres à chaque charge, sans diminuer la dose de minérai; mais il est essentiel que le fourneau ait une certaine hauteur et qu'il y règne une chaleur intense au moment où l'on commence l'opération.

A Wondollek (Prusse) où l'on ne traite que des fers limoneux, dont la fonte est convertie en projectiles et en poterie, il s'était accumulé une si grande quantité de brocailles, jets, caffuts, etc., qu'on se vit forcé en 1806, de faire des dispositions particulières pour les refondre. Le fourneau dont la hauteur est de $10^{m},35$, fut rétréci de manière qu'il n'eut plus que 125 centim. de diamètre au ventre, et 55 au gueulard; l'ouvrage fut rendu cylindrique et reçut une hauteur de $1^{m},05$ et un diamètre de 31 à 37 centim.; les étalages furent inclinés à 45°: pente beaucoup trop douce qu'on employait exprès pour retarder la descente des charges, afin de n'obtenir que la quantité de fonte qu'on pouvait mettre en œuvre. Mais il eut

mieux valu ralentir le mouvement des soufflets et diminuer l'ouverture de la buse. Construit de cette manière, le fourneau donna en vingt-une semaines, 2438 quintaux métriques de fonte, en consommant 533 mètres cubes de charbon de bois, ce qui fait par 100 kilog., 0,22 mètres cubes; le déchet était à peu près de 8 pour 100. Cette consommation de combustible comparée à celle des cubilots, paraîtra très-modérée.

936. La quantité de charbon de bois consommé pour refondre 100 kilog. de fer cru dans *des cubilots*, varie entre 0,40 et 0,52 mètres cubes, si l'on ne compte point le combustible employé à remplir la cuve la première fois; dans le cas contraire, la consommation s'élève à peu près à 0,59 mètres cubes. Elle augmente d'ailleurs ou diminue d'un quart, selon la nature du charbon, sa dureté, sa pesanteur spécifique et la méthode qu'on suit pour le préparer. Les consommations moyennes que nous venons de donner, ont été recueillies avec soin dans les forges de Torgelow, en Poméranie, dans celles de Bergen, en Bavière, et dans celles de Wasseralfingen, en Würtemberg. Si l'on suppose que le mètre cube de ces charbons, provenant du bois de pin, pèse 155 kilog., la consommation évaluée au poids sera, par 100 kilog. de fonte, 60 à 80 kilog. de charbon de pin sylvestre. Ces résultats prouvent que la dépense en combustible occasionnée dans les cubilots, est plus que le double de celle qui aurait lieu dans des fourneaux d'une plus grande hauteur.

Dans les cubilots chauffés avec le coke, on brûle, terme moyen, un mètre cube de ce combustible, pour refondre 1000 kilog. de fer cru, en comprenant ce qui est nécessaire pour remplir le fourneau, et l'on peut supposer que le poids moyen d'un mètre cube de coke est de 480 kilog.

Ces données peuvent varier considérablement, selon

la qualité des cokes, ainsi que nous l'éprouvâmes par quelques essais faits avec une grande exactitude en décembre 1814, à la fonderie de Gleiwitz (voyez le paragraphe 591). Dans ces expériences et par une même quantité de vent lancé dans le fourneau, le nombre des charges, composées chacune de 21 litres, était par heure de 6,8 pour les cokes agglutinés, de 7 pour les cokes obtenus en meules et de 5,9 pour les cokes des fourneaux à goudron. Si la première espèce moins pure que la deuxième, brûle aussi moins vite, on ne doit l'attribuer qu'aux terres mêlées avec le combustible. Le coke des fourneaux à goudron mesuré au volume, développe le plus de chaleur; mais il faut le brûler au milieu d'un air plus comprimé, ou dans une cuve plus étroite; ou, ce qui vaut mieux, dans un fourneau à deux tuyères.

937. On ne confectionne la sole du fourneau qu'après que les parois de la cuve sont achevées; on ferme ensuite l'ouverture antérieure, avec des briques ou de l'argile, en ne laissant ouvert que le trou de la coulée. Cela fait, on dessèche le fourneau: opération qui demande plus de temps, si les parois ont été renouvelées, que si elles avaient déjà servi. On introduit pour cet effet des charbons ou des cokes incandescens dans la cuve, et on les recouvre de charbons noirs; aussitôt que ceux-ci commencent à rougir, on en verse d'autres et ainsi de suite jusqu'à ce que la cuve soit remplie. C'est alors qu'on fait agir les machines soufflantes; mais on ne ferme pas le trou de la coulée, afin que la flamme puisse y passer et qu'elle vienne mieux échauffer la sole.

A mesure que les charges descendent, on les remplace, jusqu'à ce que la température du fourneau soit assez élevée pour qu'on puisse charger en métal, ce que l'on reconnait à la flamme du gueulard. Dès que les pre-

mières gouttes de fer cru sont tombées sur la sole, on ferme le trou de la coulée avec un tampon d'argile, et on ne l'ouvre ensuite que pour laisser échapper la fonte qu'on reçoit dans des poches; il rare qu'on la dirige dans les moules au moyen de rigoles, à moins que les fourneaux à manche n'aient une très-grande capacité et qu'on ne coule de gros objets : si le poids des pièces n'excède pas 200 kilog., il est plus avantageux de porter la fonte, parce qu'il s'en fige une grande quantité dans les conduits.

938. Le travail des cubilots est très-simple: il suffit d'un ouvrier pour introduire les charges dans la cuve, nettoyer la tuyère et déboucher la coulée; mais on ne doit pas l'embarrasser du transport des matières. Le combustible est toujours chargé à la mesure et la fonte au poids.

La quantité de métal que le charbon est susceptible de porter, ne peut se déterminer que par un tâtonnement, très-facile d'ailleurs pour les petits fourneaux. On charge ordinairement en une seule fois 20 à 30 litres de coke. On peut au reste diminuer ce volume, à mesure que le combustible est plus pesant; mais s'il est léger, il vaut mieux employer de fortes charges, afin que les lits de charbon ne soient pas traversés par la fonte.

Le chargement qui se répète par 8 ou 10 minutes se fait avec des *baches*, que l'ouvrier porte sur sa tête en montant un petit escalier appuyé contre le fourneau. Cependant, si les foyers ont de grandes dimensions, il faut employer d'autres moyens pour transporter les matières au gueulard. Le chargeur ne doit pas avoir la latitude de combler la mesure plus ou moins. Il faut donc que les vases dont il fait usage aient une capacité telle que, remplis jusqu'au bord, ils puissent contenir toute la charge.

939. Le poids du fer cru introduit en une seule fois

dans le fourneau, se détermine par le volume de la charge de charbon et par la qualité de ce combustible. Lorsque ce poids a été trouvé par l'expérience, on s'y conforme exactement, sans se permettre aucune variation, à moins que la qualité du coke ou du charbon ne change et qu'elle n'exige d'autres proportions, pour que la fonte ne devienne ni trop épaisse ni trop chaude.

Avant de refondre le fer cru on doit le nettoyer, enlever la terre attachée à sa surface et le réduire, si l'on peut, en fragmens de 100 à 150 centim. cubes.

Quand la sole n'est pas échauffée convenablement, la fonte devient épaisse et blanche; quelquefois même la cuve s'engorge.

On ne pourrait liquéfier séparément de la fonte blanche et en obtenir de la grise, sans occasionner une grande dépense de charbon et sans entraîner la ruine des parois du fourneau; mais cette fonte peut entrer dans les charges pour un quart ou pour un tiers. La fonte blanche grenue est la moins propre à être refondue, parce qu'elle obstrue le creuset, qu'elle ferme le trou de la coulée et qu'elle se fige dans les poches.

La fonte phosphoreuse qu'on obtient des minérais appelés fers limoneux, reste assez liquide, lors même qu'elle est un peu blanche.

La fonte qui donne du fer rouverin est très-réfractaire, très-épaisse et se refroidit très-promptement.

940. Tout le travail de l'ouvrier se réduit à charger le fourneau et à nettoyer la tuyère. On coule ordinairement la fonte après un nombre de charges déterminé par la capacité du creuset. On y procède en perçant avec un ringard le tampon d'argile; on reçoit la fonte dans des poches ou bien on la laisse couler dans des rigoles. Il est même inutile d'attendre que tout le creuset soit

rempli; on peut, à une heure quelconque, faire sortir du fourneau la quantité de fonte dont on a besoin; on l'empêche ensuite de s'écouler en refermant le trou avec un bouchon d'argile fixé à l'extrémité d'un bâton.

La fonte est souvent si chaude qu'elle attaque les moules; pour prévenir cet effet, on la laisse reposer quelques minutes dans les poches. On peut dans ce cas, augmenter sans danger la charge de métal.

941. Le sable attaché à la fonte, les cendres du combustible, et les briques de la cuve, forment un laitier très-visqueux, qu'on rend plus liquide en ajoutant de temps à autre à la charge, une petite quantité de pierre calcaire; par cette addition le laitier peut alors s'écouler avec la fonte. Si une partie de scories était figée dans l'intérieur de la cuve, il faudrait interrompre le courant d'air et renverser le petit mur de briques qui ferme le devant du fourneau: on nettoierait ensuite le creuset et l'on reconstruirait ce petit mur, pour continuer le travail: l'interruption ne doit pas durer plus de dix à quinze minutes. En procédant de la sorte, on peut maintenir un fourneau en activité pendant huit jours sans être gêné par l'accumulation du laitier. Les cuves durent plus long-temps, quand on ajoute quelquefois de la pierre calcaire à la charge; on endommage les parois lorsqu'on est obligé d'en détacher les scories à coups de ringards: il vaut donc mieux les rendre plus liquides par une addition de fondant.

942. Les cubilots ne s'activent ordinairement que pendant le jour. Après la dernière coulée, on retire encore du fourneau beaucoup de coke; parce que la fonte traverse les lits de combustible. C'est pour cette raison qu'on peut doubler la dernière charge de métal; il en résulte une économie de charbon. Au lieu de vider le fourneau, on

peut y introduire, après la dernière coulée, deux charges de coke, après avoir nettoyé le creuset le plus possible sans toutefois renverser le mur antérieur; on remplit ensuite toute la cuve avec des charges ordinaires de métal et de coke; on bouche hermétiquement toutes les ouvertures; le lendemain matin, on obtient de la fonte liquide, très-peu de temps après avoir donné le vent. La quantité de charbon ménagée par ce moyen serait très-considérable, si l'on activait les cubilots tous les jours.

943. Il est évident que les moules doivent être prêts lorsque la fonte est liquide. Il faut donc se pourvoir du nombre de châssis et des modèles nécessaires à cet effet, ce qui occasionne une assez forte dépense.

944. Construites avec de bons matériaux, les parois de la cuve doivent durer quatre à cinq semaines. La reconstruction de cette maçonnerie réfractaire est d'autant plus incommode que le fourneau est plus étroit, surtout lorsque l'enveloppe extérieure est formée de cylindres entiers. Quand au contraire cette enveloppe se compose de plaques, on enlève celles qui se correspondent, sur l'un des côtés du cylindre, et l'on peut alors travailler facilement dans l'intérieur de la cuve.

945. Le déchet de la fonte dépend de la marche du travail, de la nature du fer cru et de la qualité du combustible. Si le coke est pur, que le vent ait le degré de vitesse convenable, et que la fonte soit grise, cette perte peut quelquefois ne s'élever qu'à 5 $\frac{1}{2}$ pour cent, y compris celle qui est occasionnée par les grains de fer cru répandus dans l'usine ou mêlés aux scories; cependant, par 100 kilog. de fonte chargée dans le cubilot, on ne doit compter que sur 91 à 93 kilog. de marchandises, y compris les jets: quand

la fonte est blanche, que le fourneau reste froid et que le coke est impur, le déchet peut monter jusqu'à 25 pour cent.

946. Les cubilots sont placés dans l'intérieur de l'usine au-dessous d'une cheminée. Si deux de ces foyers sont établis sous une même cheminée, le manteau en doit être assez large pour ne pas gêner la dissipation de la fumée, ni le dégagement de la chaleur qui, pendant l'été, serait incommode et produirait une trop prompte dessication des moules en sable.

Un cubilot qui est activé 10 heures par jour, et qui reçoit par heure 6 charges d'un demi quintal métrique de fer cru, peut en refondre 30 quintaux, qui donneront 28 quintaux de fonte liquide, disponible pour ainsi dire à chaque instant de la journée.

DE LA REFONTE DU FER CRU DANS DES FOURS A RÉVERBÈRE.

947. Un four à réverbère (Pl. VIII, Fig. 10, 11, 12 et 13) se compose de trois parties principales: la chauffe avec la grille A, le foyer de la fusion B et la cheminée C. La sole et la grille sont couvertes par une même voûte. La cheminée se trouve placée de manière que la flamme et les gaz doivent traverser tout le foyer pour s'échapper et pour se rendre dans la cheminée en passant par le canal E qu'on appelle *rampant* ou échappement. Lorsque le fourneau est placé pour ainsi dire sous la cheminée, le rampant ne reçoit qu'une très-faible longueur.

La sole du four à réverbère se trouve établie, ou sur un massif de maçonnerie, ou sur une voûte, ou bien sur des plaques de fonte, qu'on peut enlever et replacer avec facilité. Ces plaques reposent immédiatement sur les murs latéraux ou bien sur des linteaux de fer.

La voûte doit être confectionnée avec beaucoup de soin et s'abaisser depuis la grille jusqu'au rampant; afin que la capacité du fourneau soit diminuée vers ce point qui est le plus éloigné du combustible. On couvre la voûte avec du poussier, sur lequel on applique ensuite une couche d'argile, de sorte qu'elle paraisse plane à l'extérieur. Le but de cette couverture est de garantir la maçonnerie des chocs accidentels et surtout d'empêcher la dissipation de la chaleur.

948. Le four à réverbère est destiné à supporter une haute température. On doit donc le construire avec les précautions nécessaires pour que la maçonnerie ne soit pas rompue. Le moyen de consolidation usité, consiste dans une enveloppe de plaques de fonte retenues entre elles par des tirans et des boulons; mais ils ne peuvent empêcher les crevasses, surtout lorsque dans un four nouvellement construit, on donne un coup de feu trop violent.

Un four à réverbère placé en plein air, et dont une des faces seulement, celle du creuset, se trouve dans l'intérieur de l'usine, doit être couvert ou mis à l'abri des eaux pluviales.

949. Le courant d'air libre qui, dans les fours à réverbère, active la combustion, est dû à la dilatation de l'air intérieur. C'est dans la cheminée que le fluide élastique est raréfié par la flamme, par la fumée et même par l'acide carbonique au moment où il se forme. Il s'ensuit qu'il doit exister un certain rapport entre la grille, la sole et la cheminée, pour que dans ces foyers on puisse produire la plus haute température.

On peut admettre en général que le degré de chaleur produit dans un four à réverbère d'une capacité donnée, est proportionnel à la surface de la grille et à la

hauteur de la cheminée et qu'il dépend de l'aire de la section du rampant. Il faut donc qu'on les fasse varier avec les dimensions du foyer; car les fours à réverbère ont des capacités bien différentes : il en est dans lesquels on ne peut fondre que 800 kilog. de fer cru, et d'autres peuvent en recevoir 3000.

Si l'on connaissait la durée de la combustion qui correspond au maximum d'effet que le combustible peut produire, on pourrait donner par tâtonnement à la grille et à la cheminée, des dimensions telles que dans le temps relatif à ce maximum d'effet, il se consumât une quantité déterminée de combustible. Quand la combustion est lente, l'air environnant absorbe une trop grande partie de la chaleur; d'un autre côté, lorsqu'elle est trop rapide, il est probable que le combustible ne produit pas tout son effet, parce que le calorique a besoin d'un certain temps pour pénétrer les corps. On ne connaît pas encore la durée de la combustion qui produit le plus d'effet; on ignore également si ce temps est le même pour tous les combustibles. Quant à ceux qui brûlent avec flamme et qui contiennent différentes quantités de carbone, tels que le bois, la houille, la tourbe, il est plus que probable qu'employés à la fusion des métaux, ils doivent être brûlés dans des temps inégaux pour développer le maximum de chaleur.

On est disposé à croire que le fer cru doit se liquéfier aussi facilement dans les fours à réverbère qui sont grands, que dans ceux qui ont une petite capacité; cependant il n'en est pas ainsi: probablement parce que dans ceux-là les dimensions de la chauffe et de la cheminée sont trop faibles par rapport à celle du foyer. Dans les fonderies où l'on coule de très-grosses pièces qui nécessitent l'emploi de plusieurs fourneaux, il est très-essentiel que la fonte se liquéfie dans tous les foyers en même temps, afin qu'on ne soit pas forcé de la tenir plus long-temps en bain dans un

fourneau que dans un autre, ce qui nuirait à l'homogénéité du métal dont la pièce serait composée Si donc on sait par expérience que la fusion est plus rapide dans l'un des fours, on doit l'allumer plus tard.

950. On a reconnu que les fours à réverbère activés avec de la houille et destinés à fondre du fer cru, produisent le plus d'effet avec la plus faible consommation de charbon, si la surface de la grille et celle de la sole sont entre elles dans le rapport de 2 à 7, si l'aire de la partie de la grille non coupée par les barreaux est à la section du rampant comme 3,5 : 1 ou 35 : 10, et si la cheminée a pour le moins 12 à 13 mètres d'élévation. Ces données, termes moyens, ne sont du reste que des résultats d'expériences.

La section de la cheminée doit toujours être plus grande que celle du rampant; afin que l'air chaud et la fumée puissent se dégager avec rapidité. On ne peut dans aucun cas donner à la section de l'aire de la cheminée moins d'un pied carré, sans cela il serait impossible d'y construire la maçonnerie réfractaire.

951. Il importe que l'air extérieur puisse affluer librement sous la grille. Si donc le fourneau est placé dans l'usine, la chauffe doit être au-dehors; il serait même avantageux qu'elle fût tournée vers le nord et qu'il n'y eût point d'autre bâtiment dans le voisinage. L'espace qui est sous la grille doit être assez vaste et assez profond pour que les cendres et les charbons embrasés, passant à travers les barreaux, ne puissent pas échauffer et dilater l'air affluant. On creuse pour cette raison le sol naturel, et l'on descend au cendrier par quelques marches.

Les barreaux sont en fonte ou en fer forgé. Lorsqu'ils sont assez épais pour ne pas se courber, ils durent plus

long-temps, s'ils sont en fonte que s'ils étaient en fer forgé, parce que le fer cru est moins oxidable que le fer affiné. M. Gill voudrait que la surface supérieure des barreaux fût concave, afin que les cendres du combustible pussent s'y arrêter et protéger le métal contre l'action de l'air. Leur écartement dépend de la grosseur des fragmens de houille qu'on emploie: on doit toutefois craindre de trop les éloigner les uns des autres, parce qu'ils laisseraient tomber la houille et qu'il se formerait sur la grille des espaces dégarnis, qui donnerait entrée à l'air froid et non décomposé; ce qui serait extrêmement nuisible à l'opération. Des barreaux trop rapprochés retiennent les cendres, qui ferment alors le passage à l'air, quelque soin qu'on prenne pour nettoyer la grille. L'écartement le plus convenable est de 14 à 20 millimètres: c'est d'après cette quantité qu'on doit calculer la grosseur des *têtes* qui servent à régulariser la position des barreaux *.

952. Tant que le fourneau est en activité, les barres sont rafraîchies suffisamment par l'air froid qui afflue sous la grille; mais elles commencent à s'échauffer et à souffrir après la fusion, lorsque l'équilibre de l'air se rétablit. Il faut donc les enlever aussitôt que la coulée se trouve achevée.

Comme l'air ne doit entrer dans la chauffe qu'à travers la grille, il faut qu'elle joigne aux parois du mur, et qu'il ne reste entre les têtes des barreaux et la traverse x, Fig. 16, Pl. VIII, qui sert de support à la voûte, que l'espace dont on a strictement besoin pour placer et pour retirer les barreaux.

---

* L'écartement des barreaux dépend de la nature de la houille; si elle est très-grasse, on peut les espacer plus qu'on ne le ferait si elle était maigre. Le T.

953. On charge la grille par une ouverture Z, Fig. 10 et 11, qui, pour plus de commodité, se trouve évasée en dehors. Elle doit être assez grande pour que le chargeur puisse répandre le combustible sur toute la grille. Cependant il devient difficile de fermer hermétiquement cette ouverture, quand elle est trop grande; l'air froid pénètre alors dans l'intérieur du four et diminue le tirage. On la bouche avec du petit charbon, c'est un moyen de la fermer mieux qu'avec une porte. Si le four à réverbère a de grandes dimensions, on y introduit la houille par deux trous semblables pratiqués aux deux faces opposées.

954. Le *pont b*, Fig. 10 et 12 qui sépare la grille du foyer, a pour but d'empêcher la houille de se mêler avec la fonte et de préserver le métal du contact immédiat de l'air. Sa hauteur est de 12 à 24 centim. Trop bas, il ne protège pas le fer contre l'oxidation; trop élevé, il en retarde la fusion, bien qu'il empêche le blanchîment de la fonte. De petits fours, dans lesquels la chaleur n'est jamais aussi intense que dans des fours de grandes dimensions, doivent avoir des ponts plus bas. Confectionnée avec les matériaux les plus réfractaires, cette espèce de barrière doit être entretenue en très-bon état : les ouvriers la dégradent quelquefois en plaçant la fonte sur la sole.

La distance A*b* entre la surface supérieure du pont à la grille, ou ce qui revient au même l'emplacement de cette dernière, dépend de la longueur du fourneau et de la nature de la houille. Cette distance doit être d'autant plus grande que le four est plus court et la houille plus grasse. Il faut au contraire placer la grille le plus haut possible, quand on active les fours à réverbère avec de la houille sèche.

955. On a souvent changé la forme et les dimensions

de la sole: elle a été tantôt rectangulaire, tantôt elliptique ou composée de plusieurs lignes droites ou courbes. On a donné à la sole une plus grande largeur qu'à la grille, ou bien on a fait un ventre au milieu de sa longueur; mais la forme la plus naturelle et la plus commode à exécuter, serait celle d'un trapèze dont le plus grand côté tourné vers la grille, aurait une largeur égale à celle-ci, parce que la chaleur diminue toujours à mesure qu'on s'éloigne de la chauffe. L'élargissement du foyer vers le milieu de sa longueur, ne présente aucun avantage, et nuit à la solidité de la construction. Il est d'ailleurs déraisonnable d'augmenter les dimensions du foyer en un point où le degré de chaleur n'est pas le plus élevé.

956. Anciennement on donnait toujours à la sole des fours à réverbère une forme semblable à celle de la Fig. 16. Une partie de cette sole était horizontale; elle s'appelait autel, elle recevait le fer cru qu'on y entassait pour le mettre en liquéfaction. Au premier quart de la longueur totale du foyer, la sole prenait une inclinaison qui variait entre 12° et 18°, de manière que le fer cru, à mesure qu'il entrait en fusion, s'écoulait vers l'extrémité opposée au pont, dans une espèce de creuset. L'expérience a prouvé que la fonte grise provenant de minérais fusibles blanchit, étant refondue dans ces sortes de fours à réverbère, la sole n'aurait-elle que 12° d'inclinaison; tandis que la fonte grise provenant de minérais réfractaires conserve sa couleur caractéristique, lors même que la sole forme un angle de 20° avec l'horizon Cependant une inclinaison trop forte est toujours nuisible; parce que les petits morceaux de fonte qui ne sont pas encore liquéfiés peuvent glisser sur ce plan incliné, arriver dans le creuset, et refroidir le métal.

Voici à peu près les défauts principaux des soles in-

clinées ou pour mieux dire, brisées, présentant un autel :

1° La fonte est très-exposée à l'action du courant d'air, lorsqu'en très-petits filets elle se rend dans le creuset ; il n'y a que la fonte grise, provenant de minérais réfractaires qui puisse y résister sans changer de couleur ; mais elle éprouve un trop grand déchet, quand la sole est très-inclinée ;

2° Les morceaux de métal ne baignent jamais dans la fonte liquide, qui en faciliterait la fusion : il arrive presque toujours qu'une partie de la fonte solide, exposée trop long-temps au courant d'air, finit par s'affiner et reste sur l'autel sous forme de carcas ;

3° Ne pouvant entasser le fer cru que sur l'autel, on est obligé de donner une grande hauteur à la voûte, ce qui augmente la capacité du fourneau et empêche la concentration de la chaleur.

Ces sortes de foyers consomment une grande quantité de combustible et ne peuvent jamais être uniformément échauffés. Ajoutons qu'on est obligé de les rétrécir fortement vers le rampant, de surbaisser alors la voûte de ce côté, ce qui la dégrade plus vite et occasionne une réverbération continuelle sur la fonte liquide. Dans les fourneaux dont la sole et la voûte sont horizontales, la flamme glisse pour ainsi dire le long de cette dernière, jusqu'à ce qu'elle soit arrivée à l'embouchure du rampant.

Le point essentiel est que le foyer reçoive dans toute sa longueur le même degré de chaleur : c'est alors que le combustible se consume de la manière la plus avantageuse, et que la capacité du fourneau est utilisée en entier, puisqu'on peut charger toute la sole ; mais dans ce cas elle doit être à peu près horizontale. — Si le trou de la coulée est en *n* vers la dame du rampant, la sole peut ne recevoir qu'une inclinaison de 1° à 2°, suffisante seulement pour l'écoulement de la fonte, quand on fait la percée.

957. Il existe une autre espèce de four à réverbère (Fig. 17), qui est adoptée dans plusieurs usines et qu'on trouve très-avantageuse en la comparant aux anciens fours à réverbère. Le fourneau dont nous donnons le dessin est construit pour la houille, mais on en a varié les dimensions pour y brûler de la tourbe ou du bois. Dans ce dernier cas, l'ouverture par laquelle on introduit le combustible dans la chauffe est pratiquée dans la voûte. On entasse le fer cru qu'on veut refondre sur la partie *c*, en chargeant par la porte *b*; le creuset *d* où la fonte liquide se rassemble est près du pont. Ces foyers ne présentent point d'avantage sur les fours à réverbère dont la sole est horizontale. Cependant ils valent mieux que les anciens fours à réverbère dont la sole est inclinée dans le sens opposé : la fonte se trouvant ramassée près du pont, reste plus liquide, on obtient moins de *carcas* (969) et le fer cru subit un moindre déchet; mais les voûtes anguleuses sont difficiles à construire et se dégradent promptement. Ces sortes de foyers se rencontrent dans plusieurs usines de l'Angleterre, de la France et de l'Allemagne.

958. La substance servant à la confection de la sole doit être très-réfractaire; la meilleure matière qu'on puisse employer, est le sable de rivière le plus pur. A son défaut on peut se servir d'autre sable, que toutefois on doit laver préalablement : pour remplacer l'un et l'autre, on est quelquefois obligé de pulvériser du quartz. La sole se compose d'une couche de sable ayant $0^m,06$ d'épaisseur; elle repose sur une maçonnerie construite en matières argilo-quartzeuses. Il est essentiel qu'on ménage dans le massif des canaux *m* pour le dégagement des vapeurs. Les soles horizontales doivent être plus réfractaires encore que les autres; si elles étaient disposées à fondre en partie, il se formerait trop de laitier qui envelopperait les morceaux de métal et retarderait la fusion.

959. Lorsque la sole est inclinée, le fer cru refondu se rassemble à l'extrémité inférieure de la sole, dans une cavité formant le creuset. Au point le plus bas de ce creux, on ménage une ouverture *n*, Fig. 16, qui traverse le mur antérieur, et qui, fermée durant la fusion avec de la terre mêlée de fraisil, n'est ouverte que pour la coulée. Si, au lieu de couler la fonte, on veut la puiser, on introduit les poches dans le fourneau par une ouverture carrée O, Fig. 16, qu'on referme chaque fois, afin de ne pas trop refroidir le bain. On pratique dans la porte un petit trou, au moyen duquel on observe la marche du fourneau et qu'on bouche ensuite avec un tampon d'argile.

Si la sole du fourneau est horizontale, ou si elle n'a qu'une très-petite inclinaison, on peut aussi pratiquer le trou de la coulée à l'extrémité du fourneau, ainsi qu'on le voit par la Fig. 10; mais dans ce cas, on ne pourrait puiser la fonte avec des poches. Pour cet effet, il faudrait ménager un léger creux du côté de la porte Q; on pratiquerait aussi à cet endroit un trou pour la coulée. Cependant il est toujours difficile de puiser la fonte avec des poches dans ces sortes de foyers, parce que la cavité dont nous venons de parler, ne pourrait être profonde, et dans le cas contraire, elle manquerait son but. Ajoutons que cette opération est très-pénible pour les ouvriers, et que par cette raison, elle donne lieu à beaucoup de fonte répandue: en ouvrant la grande porte, on laisse d'ailleurs entrer une trop grande quantité d'air dans le fourneau, ce qui refroidit le métal et le dispose à blanchir. Pour éviter ces sortes d'inconvéniens, il faut ménager au-dessous de la porte Q un trou pour l'écoulement du métal, qu'on recueille ensuite dans des poches, ainsi qu'on le pratique pour les cubilots: il suffit alors que la sole reçoive une très-légère inclinaison vers cette ouverture.

960. L'ouverture Q, Fig. 10 et 11, par laquelle on introduit la fonte dans le four, est fermée durant la fusion par une porte en fer, qu'on enduit à l'intérieur d'une couche d'argile, pour l'empêcher de se fondre ou de se détériorer par l'oxidation. Cette porte qui se meut dans une rainure en fer, est soulevée au moyen d'un balancier chargé de contre-poids, afin que la manœuvre puisse s'exécuter avec facilité. Lorsque le fourneau est à feu, on jette contre la porte du sable sec pour intercepter le passage de l'air atmosphérique, et l'on bouche tous les joints avec de la terre glaise.

961. La voûte reçoit une hauteur telle que l'aire de la coupe faite à l'extrémité la plus large du foyer, soit tout au plus égale aux trois quarts de la grille, lorsque la sole est horisontale. L'élévation de la voûte au-dessus de la sole dépend donc de la largeur de cette dernière et de l'aire de la chauffe: nous supposons toujours que la longueur de la grille corresponde à la largeur de la sole. Si la voûte était plus élevée, on ne pourrait concentrer la chaleur; si on l'abaissait, on serait gêné en chargeant le fourneau. Construite en briques très-réfractaires, elle doit être exécutée de manière que les joints soient le plus minces qu'il est possible : c'est principalement près du pont qu'on doit apporter le plus grand soin pour la construction de la voûte et le choix des matériaux. La fusion des briques donne lieu non-seulement à de grandes réparations, mais aussi à une grande déperdition de chaleur et à la formation d'un laitier abondant qui couvre le fer et retarde la liquéfaction du métal : sans l'emploi des briques réfractaires de la meilleure qualité, on ne peut espérer aucun succès. L'inclinaison de la voûte est réglée par celle de la sole; mais on l'abaisse un peu vers le rampant, parce que la chaleur va toujours en diminuant vers cette partie du fourneau.

Une voûte bien construite doit résister à 50 et même à 100 fondages ; mais quelquefois on est obligé de la reconstruire après le dixième.

962. Bien que nous ayons déjà fixé (950) le rapport qui doit exister entre la surface de la sole et celle de la grille, nous devons faire observer encore que la largeur et la longueur du foyer doivent être déterminées l'une par l'autre, de manière que le combustible puisse produire son maximum d'effet. Si la sole est trop courte, la flamme traverse le fourneau en peu de temps, et la chaleur se perd ; si la sole est trop longue, la fonte se refroidit. Il paraît qu'en refondant le fer cru avec de la houille, le rapport entre la longueur et la plus grande largeur devrait être comme 2 : 1. Quand on emploie de la houille qui donne beaucoup de flamme, on fait bien d'augmenter la longueur de la sole ; dans le cas contraire, lorsqu'on brûle de la houille sèche, le rapport de la longueur à la largeur de la sole, ne peut être plus grand que 3 : 2. Il est bien entendu que dans ce cas on doit aussi hausser la grille (954).

963. *Le rampant* ou le canal qui conduit la flamme dans la cheminée, se trouve ménagé dans le petit côté du four, à l'endroit le plus éloigné de la chauffe ; afin que la flamme puisse parcourir toute la longueur du foyer. L'expérience a prouvé que le tirage est plus fort, lorsque ce canal va en s'élargissant depuis le fourneau jusqu'à la cheminée : l'écoulement de l'air chaud et de la fumée, suit sous ce rapport la même loi que l'écoulement des autres fluides ; la vitesse de sortie est augmentée, si l'orifice a la forme d'un cône dont la grande base est tournée en dehors. On commettrait une faute très-grave, si l'on pratiquait l'embouchure de *l'échappement* sur l'un des grands côtés du foyer. Il ne faut pas que l'entrée de ce canal soit trop

élevée au-dessus de la sole; parce que la flamme suivrait alors la voûte et la chaleur se dégagerait sans produire d'effet sur la fonte rassemblée dans le creuset. Le succès du fondage dépend d'ailleurs des justes dimensions du rampant; il faut donc pouvoir l'élargir ou le rétrécir, sans qu'il en résulte de trop grandes réparations. On parvient à ce but à l'aide des dispositions indiquées par la fig. 10; on hausse la digue ou *dame* X, en y jetant un peu de sable, ce qui est le moyen le plus commode de rétrécir l'ouverture du rampant. Cette dame se construit en briques réfractaires, et sa hauteur est calculée sur la plus grande embouchure qu'on veut donner au rampant. Le trou de la coulée *ny*, qui est pratiqué au niveau de la sole, traverse le milieu de la dame.

964. La dilatation de l'air et par suite le tirage deviennent très-faibles, lorsque le rampant est trop large. C'est pour cette raison que dans les fours à réverbère qui ont un échappement très-grand, on ne pourrait produire un haut degré de chaleur, bien qu'on y brûlât beaucoup de combustible. Plus on rétrécit ce canal, plus on force l'air dilaté et la flamme de s'arrêter dans le fourneau. D'un autre côté, quand le rampant est trop étroit, le tirage devient aussi trop faible, la combustion n'est plus assez rapide, ni la chaleur assez intense: il s'ensuit qu'il existe un maximum que l'expérience doit déterminer. Si l'on connaissait ce maximum et que dans un four à réverbère construit d'après cette donnée, on ne pût refondre du fer cru très-réfractaire, on serait obligé d'augmenter à la fois la section du rampant et l'air de la grille, en conservant entre elles, le rapport précédemment trouvé. Ce rapport varie du reste avec la nature du combustible. La houille très-maigre, par exemple, exige un rampant plus étroit ou, ce qui revient au même, une grille plus grande

qu'elle ne serait nécessaire, si l'on activait le fourneau avec de la houille grasse.

965. On peut savoir facilement si la section du rampant et l'aire de la grille, sont entre elles dans le rapport le plus avantageux : si la fonte placée près du pont se liquéfie plus vite que celle qui est près du rampant, on peut en conclure que l'ouverture de ce dernier est trop petite, et que le tirage n'est pas assez actif; si au contraire la fonte qui est placée près du rampant, se liquéfie plus vite que celle qui avoisine le pont, on peut en conclure qu'il s'échappe une trop grande quantité de chaleur par l'ouverture de ce canal qui est alors trop grande. Lorsqu'il est en juste proportion par rapport à la grille, il faut que le fourneau s'échauffe uniformément dans toutes ses parties. Cette règle très-simple ne peut jamais induire en erreur, quand la sole du fourneau est horizontale; dans le cas contraire, lorsqu'une partie de cette dernière est inclinée et qu'une autre forme l'autel, il est difficile de déterminer les justes proportions du rampant : on est même obligé d'échauffer plus fortement la partie du foyer où l'on place le fer cru qu'on veut refondre.

Il est clair, par ce qui précède, que le rapport de la section du rampant à l'aire de la grille est déterminé par la nature de la houille dont on dispose: si ensuite on voulait varier le degré de chaleur, il faudrait augmenter ou diminuer à la fois l'aire de la grille et la section du rampant, sans changer ce rapport qui ne dépend que de la nature du combustible. Si par exemple on voulait convertir un four à réverbère construit pour la fusion du fer cru, en un foyer de chaufferie, qui évidemment doit donner moins de chaleur, il vaudrait infiniment mieux diminuer les deux quantités dont nous venons de parler, que de rétrécir seulement le rampant :

par le dernier moyen, on ralentirait le tirage; mais le combustible ne produirait pas tout son effet *.

966. Dans la construction des fours à réverbère, la cheminée est la partie la plus dispendieuse, parce qu'elle doit recevoir quelquefois plus de 20 mètres de hauteur, surtout lorsqu'il existe dans le voisinage des bâtimens élevés, qui gênent le mouvement de l'air. Les cheminées, établies sur de larges fondations, sont encore consolidées par des tirans en fer. Les murs reçoivent un retrait pour acquérir plus de stabilité et pour ne pas exercer une trop forte pression sur la base. La partie intérieure, soumise quelquefois à un haut degré de chaleur, doit être en briques réfractaires; car on voit la flamme paraître au-dessus des cheminées qui ont plus de 20 mètres d'élévation.

L'enveloppe extérieure des cheminées se construit en briques communes. Lorsqu'elles sont de bonne qualité, et qu'on emploie du reste les meilleurs matériaux, il n'est pas nécessaire de prodiguer le fer comme on le fait ordinairement, il suffit alors de placer de loin en loin quelques tirans dans la maçonnerie. Mais il est essentiel que les fondations soient larges et très-solides, et que les quatre faces reçoivent un retrait convenable. La Fig. 13 représente une cheminée de four à réverbère qui se trouve dans les forges de Sayner, près de Coblentz, et qui a 22 mètres de hau-

* Si l'on diminuait seulement le rampant, les barres de fer se chaufferaient inégalement dans le foyer, ce qui n'est pas toujours un très-grand inconvénient, puisqu'on est obligé de les faire sortir du four successivement : on peut donc en retirer d'abord celles qui sont le plus près du pont et prendre les autres plus tard. Dans un foyer de cette espèce le tirage serait moins fort, que dans celui dont la grille et le rampant auraient été diminués à la fois, et de manière que leur rapport n'eût pas été changé : il s'ensuit que dans le premier, le fer ne subirait pas une si forte occidation; mais le deuxième produirait évidemment une économie de combustible. Le T.

teur. La section du vide intérieur est de 52 centimètres en carré. La maçonnerie commune est séparée des briques réfractaires par un espace de 5 centim. rempli de laitier concassé, d'argile et de cendres de coke; son but est d'empêcher l'enveloppe extérieure de se fendre par la dilatation et de contenir en même temps la chaleur. Cette cheminée, qui résiste très-bien, ne présente pas un seul tirant. Au reste on voit par la Fig. 14 un exemple de la manière dont les tirans sont ordinairement placés: nous en traiterons plus amplement à la section suivante.

Le tirage devient plus fort à mesure qu'on augmente la hauteur des cheminées, parce que la pression de l'air atmosphérique est plus faible dans les régions supérieures, et que l'air dilaté, en débouchant de ces conduits élevés, éprouve moins de résistance. C'est pour cette raison que l'on ne pourrait employer des cheminées horizontales, quoiqu'elles fussent moins dispendieuses à construire et qu'elles pussent servir aussi comme conduits de chaleur. L'air contenu d'ailleurs par les bâtimens environnans, ne se laisserait pas déplacer avec autant de facilité.

Dans les cheminées qui ont une grande largeur, non-seulement la dilatation est très-imparfaite, mais il s'y établit aussi deux courans d'air, dont l'un, composé d'air atmosphérique, descend, tandis que l'autre qui se forme de l'air dilaté, remonte : le tirage est dans ce cas incertain et faible. Ainsi, en n'établissant qu'une cheminée pour plusieurs fours, ce qu'on fait très-souvent, on doit diviser l'intérieur de ces conduits en autant de compartimens qu'il y a de foyers; car si la largeur de la cheminée se trouvait être calculée pour un seul four, on ne pourrait en mettre plusieurs en feu; et si elle l'était pour deux, il faudrait toujours les activer à la fois, dispositions vicieuses qui contrarieraient les travaux de la fonderie.

La cheminée peut s'adosser contre le fourneau, ou

bien elle peut être placée en partie au-dessous du fourneau, dans ce cas, elle repose sur quatre colonnes ou piliers; le rampant devient alors plus court.

Chaque cheminée est pourvue à son extrémité supérieure d'une plaque de fonte, qu'on appelle registre et qu'on peut lever plus ou moins ou fermer en entier, pour activer le courant d'air ou pour l'intercepter. Quand on néglige cette disposition si nécessaire, non-seulement le fourneau souffre lorsqu'on le laisse refroidir, mais aussi la fusion ne peut s'effectuer convenablement (973 à 975). Dans un grand nombre d'usines, on trouve encore des fours à réverbère qui, destinés pour la refonte du fer cru, n'ont point de registres.

967. Le fer cru qu'on veut liquéfier ne devrait être employé en pièces ni trop grosses ni trop minces: ce qu'il y a de plus préjudiciable, c'est de charger à la fois les gros et les petits morceaux. Les premiers fondent lentement et doivent être exposés long-temps à la chaleur. Le défaut des petits fragmens est d'offrir beaucoup de surface et d'entraver, s'ils sont plats, le passage de la flamme. La forme la plus avantage qu'on pourrait donner au fer cru pour le refondre, serait de le couler en barres de 8 à 10 centimètres d'équarrissage.

Si l'on est forcé de refondre à la fois des morceaux de différentes grosseurs, on doit placer ceux qui sont minces immédiatement sur l'autel, mettre les autres par dessus et le plus près possible du pont où la chaleur est le plus intense. C'est pour la même raison que la gueuse grise doit être placée au-dessus de la blanche, si toutefois celle-ci est rayonnante ou lamelleuse; car la fonte blanche grenue est plus réfractaire encore que la grise. Ces sortes de précautions ont bien moins d'importance, lorsque la sole du fourneau est horizontale.

968. Il faut une certaine habitude pour bien charger un four à réverbère dont la sole est inclinée : on ne doit ni trop serrer les fragmens de fonte, afin que la flamme puisse trouver un passage; ni laisser de trop grands interstices entre les morceaux, afin de tirer tout le parti possible de la capacité du foyer. Si d'ailleurs la flamme passe trop librement entre les fragmens, elle donne peu de chaleur et produit une forte oxidation. En refondant des barres régulières coulées exprès, on les dispose en forme de grilles, et de manière que la rangée inférieure soit appuyée sur des supports de briques réfractaires, au lieu de toucher l'autel immédiatement.

Le chargement des fours à réverbère qui ont une sole horizontale est beaucoup plus commode, il suffit dans ce cas que le métal soit répandu uniformément sur toute la sole.

969. Le fer cru exposé long-temps à l'action de la flamme et de la chaleur blanche, se couvre à la fin d'une couche d'oxide si épaisse, qu'on ne peut liquéfier la partie intérieure que par un coup de feu des plus violens; et lorsqu'on est parvenu à la mettre en fusion, elle s'écoule en laissant sur l'autel une enveloppe creuse, qui conserve la forme du morceau chargé dans le four et qu'on appelle *carcas*. La couche extérieure de cette enveloppe est un oxide semblable aux battitures; mais les couches intérieures se composent de fer plus ou moins ductile.

La fonte rouillée paraît plus réfractaire que l'autre et donne souvent des carcas très-épais. Il suit de là que si l'on ne parvient pas à produire une chaleur rapide, on éprouve une perte considérable, surtout en refondant des plaques de peu d'épaisseur.

La fonte grise produite par des minérais réfractaires et surtout celle qui a été obtenue au coke, perd de sa force de cohérence, étant grillée long-temps à la chaleur

blanche, mais elle conserve sa couleur et sa douceur (144 à 150); entrée ensuite en fusion, elle devient plus épaisse qu'elle ne l'est ordinairement, paraît extrêmement rouge et se fige très-vite. Refroidie, elle présente une cassure grise et à facettes, et ne possède plus qu'une faible ténacité, quoique ses parties séparées semblent être ductiles. La fonte blanche chauffée sous une couche d'oxide, perd de son aigreur, devient plus réfractaire et prend une texture grenue: mise après cela en fusion, par un très-haut degré de chaleur, elle est très-épaisse, se fige à l'instant, prend une cassure grise, claire et grenue; elle laisse beaucoup de fer sur l'autel sous forme de *carcas*, et occasionne une perte très-considérable, à cause de l'oxidation qui a lieu avant et même après la fusion, attendu que le métal ne coule que très-lentement dans le creuset.

Ces sortes de changemens que le fer cru subit par la refonte dans les fours à réverbère, sont infiniment moins sensibles, lorsque la sole de ces foyers est horizontale: si dans ce cas, le rapport de l'aire de la grille à la section du rampant n'est pas juste, ou bien si le pont n'est pas assez haut, la fonte grise peut acquérir une disposition à blanchir, mais elle ne produira jamais de carcas. C'est pour cette raison que ces fourneaux donnent lieu à un moindre déchet et valent infiniment mieux que ceux dont la sole est inclinée.

970. On nuit donc à la qualité de la fonte, en élevant la température du four avec trop de lenteur, et l'on éprouve un grand déchet (144, 147 et 152). Au reste, nous avons déjà vu qu'on doit éviter de refondre la fonte blanche dans ces sortes de foyers.

La fonte tenue long-temps en bain dans le four à réverbère, prend une couleur de plus en plus claire, une

texture crochue, semblable à celle du fer affiné et acquiert une plus grande ténacité, quelle que soit l'inclinaison de la sole: mais traité de cette manière, le fer cru s'épaissit, cesse de remplir les moules, et devient ensuite si réfractaire, qu'on ne peut le liquéfier une seconde fois, à moins qu'on ne le mêle avec une fonte plus fusible.

971. Il résulte des faits que nous venons d'établir, que la fusibilité du fer cru diminue plus ou moins par chaque refonte opérée dans le four à réverbère. Si donc un objet en fer coulé exige que la masse soit douée d'une homogénéité parfaite, comme par exemple les bouches à feu, on ne doit pas, en chargeant le four, mêler la fonte de première fusion avec le fer cru qui a été déjà refondu, du moins doit-on les employer dans des proportions très-inégales, par exemple dans le rapport de $\frac{1}{4}$ ou de $\frac{1}{5}$, et placer toujours la fonte de haut fourneau immédiatement sur la sole.

La fonte blanche rayonnante, qui est la plus dure, ne peut cependant être employée pour les cylindres de compression ou pour les enclumes; parce qu'elle est trop aigre, qu'elle s'épaissit trop vite, et qu'elle ne remplit pas les moules: elle ne peut servir d'ailleurs pour les pièces qui doivent être travaillées au foret ou sur le tour. La meilleure fonte dont on puisse faire usage pour ces sortes d'objets, c'est la fonte grise qui a été obtenue avec des minérais très-fusibles, dans des fourneaux pourvus d'ouvrages un peu bas; on doit la refondre très-rapidement dans le four à réverbère par une chaleur très-intense et la verser ensuite dans des moules en fer *.

---

* Il est essentiel que les parois des moules qui doivent servir pour les cylindres des laminoirs, soient très-épaisses; on ne doit pas donner moins de 30 centimètres d'épaisseur au métal de ces moules, lorsqu'ils sont destinés pour les cylindres de grandes dimensions. Le T.

972. Il faut, durant la liquéfaction du fer cru, prendre toutes les précautions possibles pour empêcher l'air extérieur de pénétrer par les différentes ouvertures dans le foyer. On doit donc charger la grille avec beaucoup de promptitude et la tenir toujours couverte de combustible; mais il ne faut pas qu'on en introduise une trop grande quantité à la fois dans le fourneau; parce que la température s'abaisserait considérablement, avant que toute la masse ne fût embrasée : la flamme s'élevrait ensuite à une grande hauteur au-dessus de la cheminée, ce qu'il faut soigneusement éviter. Les charges doivent se répéter de 10 minutes en 10 minutes, et se composer chacune à peu près de $\frac{1}{6}$ ou d'un $\frac{1}{4}$ de hectolitre, de manière que la couche de combustible ne cesse de conserver 28 à 32 centimètres d'épaisseur, et que la cheminée soit toujours dépassée par la flamme d'une hauteur très-petite, mais constante. Si elle s'élance à une grande hauteur au-dessus de la cheminée, on peut en conclure que les charges de combustible ont été mal données, et que l'opération est manquée. Quelque simples que soient les préceptes que nous venons d'indiquer, ils acquièrent une haute importance, puisque de leur stricte observation dépend le succès du fondage.

La durée de la fusion est très-variable : il faut de 2 à 4 heures pour liquéfier de 800 à 3000 kilog. de fonte, selon les proportions qui ont été observées entre les différentes parties du fourneau et selon la qualité du combustible. Si la houille donne beaucoup de fraisil ou de cendres, elle brûle avec lenteur et bouche la grille à chaque instant : il est essentiel que cette dernière jette toujours un vif éclat; le contraire prouverait qu'elle est obstruée.

973. Des fours neufs absorbent beaucoup de chaleur, ce qui ralentit la fusion. On doit pour cette raison les

chauffer jusqu'au blanc avant d'y introduire la fonte, afin qu'elle ne soit pas exposée trop long-temps à l'action de la flamme. Lors même que le four aurait servi, on ne devrait pas négliger cette précaution, tant pour diminuer le déchet que pour obtenir une fonte plus homogène. A cet effet, on le chauffe au blanc, on laisse descendre le registre de la cheminée, on charge le plus vite possible, et l'on attend que le métal soit rouge de chaleur avant d'ouvrir la cheminée; on donne ensuite une charge de houille et l'on effectue la fusion avec la plus grande rapidité. Ce procédé s'exécute facilement, lorsque la sole du four est horizontale: dans le cas contraire, il est plus difficile à suivre. Au reste il rend la fonte plus liquide, et diminue le déchet; mais il augmente un peu la dépense en combustible.

974. La fonte liquide est toujours couverte d'une légère couche de scories, provenant soit des matériaux du four, soit des cendres qui ont été amenées par le courant d'air, soit enfin de l'oxidation d'une partie du fer. Mais lorsque la sole du fourneau est inclinée, la plus grande perte résulte du carcas qui reste sur l'autel en quantité d'autant plus considérable, que le fer cru est plus disposé à s'affiner et que la fusion s'exécute avec plus de lenteur.

Dès que la fusion est terminée, on baisse les registres, on fait écouler la fonte et l'on détache le carcas avec des ringards, en ménageant l'autel le plus qu'il est possible. Après que le four est refroidi, on répare la sole s'il est nécessaire. Quand elle se compose d'une couche de sable quartzeux bien pur, ayant 5 ou 6 centimètres d'épaisseur, elle peut durer pendant 6 ou 8 fondages. Le carcas se traite difficilement dans les feux d'affinerie, à cause de la grande quantité de sable et d'autres substances dont il est

souillé; on le refond dans les hauts fourneaux, ou bien on le passe en petites quantités dans les cubilots.

975. Si l'on fait écouler la fonte, on doit la rassembler d'abord dans un bassin, pour en ôter les impuretés. Si on la puise, on en sépare le laitier dans le fourneau même et, pendant cette opération, la cheminée reste fermée. Lorsque l'épuisement dure très-long-temps, on est quelquefois obligé de donner un nouveau coup de feu avant qu'il soit terminé, et pour cet effet on ouvre le registre pendant quelques minutes.

Les vases qui servent aux ouvriers à puiser ou à transporter la fonte liquide, doivent être parfaitement secs: l'eau qu'ils pourraient contenir ferait bouillonner le métal, dont une grande partie pourrait être lancée au-dehors; une autre partie se figerait et occasionnerait de nouveaux frais pour être refondue.

Si l'on ne veut couler qu'un nombre de pièces déterminé, on doit en calculer le poids exactement ainsi que celui des jets et des masselottes, afin de ne pas liquéfier une trop grande quantité de fonte; ce qui occasionne toujours une perte de métal et une grande dépense en combustible.

976. La fonte tenue en bain devient plus tenace, mais elle finit par s'épaissir : suite nécessaire d'une modification chimique et d'un premier refroidissement. Cet effet est plus sensible, lorsque la sole du fourneau est inclinée; parce que le métal est dans ce cas rassemblé à l'endroit du foyer où la chaleur est le moins intense. Comme beaucoup d'objets ne pourraient être coulés avec une fonte épaisse, bien qu'elle fût très-résistante, on ne doit pas la conserver long-temps à l'état liquide; de là, la nécessité de prendre les dispositions convenables pour que la fonte entre

par-tout en même temps en liquéfaction, si l'on fait usage de plusieurs fours à réverbère.

977. L'emploi de ces fours n'est réellement avantageux que dans le cas où la fabrication doit recevoir une assez grande extension pour qu'on puisse faire consécutivement plusieurs refontes, afin d'économiser le métal et le combustible.

978. Voici en résumé les règles principales qu'on doit observer pour la construction des fours à réverbère :

1° Il faut que la cheminée soit la plus haute possible; le tirage en sera d'autant plus actif, et la fusion plus prompte.

2° Il faut déterminer le rapport qui doit exister entre la section de la cheminée et celle du rampant, prise à son embouchure dans le foyer; ce rapport peut varier entre 25 : 10 et 3 : 1.

3° Il faut que l'air de la grille soit dans un rapport convenable avec celle de la sole (950 et 962).

4° La section du rampant doit être proportionnée à l'aire de la grille; le rapport dépend de la nature de la houille et de la longueur de la sole (965).

5° L'élévation de la grille doit être déterminée par le degré d'inflammabilité de la houille; elle doit être moins élevée si la houille donne beaucoup de flamme (954).

6° La capacité du foyer doit être telle que la section faite à l'endroit le plus large près du pont soit à peu près les trois quarts de celle de la grille (961).

7° La hauteur du pont, au-dessus de la sole, doit dépendre de la nature du fer cru qu'on veut refondre: si c'était de la fonte grise obtenue avec des minérais réfractaires, on pourrait ne donner au pont que $0^{m},13$ de hauteur; si au contraire les minérais avaient été très-fu-

sibles, on serait obligé de lui donner $0^m,22$ à $0^m,24$ de hauteur : en général il faut qu'on fasse à cet égard un tâtonnement pour chaque espèce de fonte.

979. Le déchet varie selon la nature du fer cru qu'on veut refondre, et surtout selon le degré de chaleur qu'on peut produire. La fusion étant plus lente en été qu'en hiver, l'oxidation du métal est aussi plus forte. Une grande partie de la perte provient au reste des grains de fonte qui se répandent dans l'usine : la sole du four absorbe aussi, avec des scories, un peu de fer. Si la fonte est grise, si le travail suit une bonne marche, et si le fourneau reste en activité pendant plusieurs jours, la perte totale ne doit pas s'élever au-dessus de 6 à 7 pour cent; dans le cas opposé, elle peut s'accroître jusques à 15.

La consommation de houille, terme moyen des dernières années, s'élève dans la fonderie de Gleiwitz, à 0,085 mèt. cubes par 100 kilog. de fonte. Le mètre cube de ce combustible pèse 800 kilog.; il s'ensuit que 100 kilog. de fonte demandent, pour être refondus, 68 kilog. de houille, et si l'on refondait un fer cru plus fusible, cette consommation se réduirait d'une quantité notable.

980. Dans les usines où l'on fabrique de grosses pièces qui ne peuvent pas être coulées avec la fonte de haut fourneau, on doit pouvoir disposer à la fois de plusieurs fours à réverbère; puisque l'emploi de ces foyers devient désavantageux quand ils sont trop grands : la chaleur n'est pas asssez concentrée dans les vastes compartimens de ces fours. On ignore encore quelles sont les limites qui ne peuvent être dépassées sans qu'il en résulte une trop forte consommation de houille. Il est évident du reste que si l'on tombe dans l'excès contraire, en donnant aux fours à réverbère de trop petites dimensions, on éprouve aussi une grande perte de calorique absorbé par les murs.

981. La houille est le meilleur combustible qu'on puisse brûler dans les fours à réverbère ; c'est celui qui développe le plus de chaleur. Cependant, on peut se trouver dans le cas d'employer la tourbe et le bois ; mais le four à réverbère est alors construit différemment : il doit recevoir une grille plus grande par rapport à la sole ; une voûte surbaissée et un rampant plus étroit par rapport à la grille.

Dans les fours à réverbère activés avec du bois, l'aire de la sole doit être à celle de la grille dans le rapport de trois à deux, tout au plus, et cette dernière doit être dix fois plus grande que la section horizontale de la cheminée. Il faut que la voûte soit tellement surbaissée que l'aire de la coupe verticale du foyer, faite dans la direction et à côté du pont, ne fasse que la quatrième partie de celle de la grille. La grande différence qui existe entre ces fours et ceux qui sont chauffés avec la houille, s'explique facilement par la nature du combustible, attendu que le bois contient beaucoup moins de carbone et beaucoup plus d'oxigène que la houille, qu'il est bien plus léger et occupe par conséquent plus de volume que cette dernière.

On a représenté par les Fig. 15 et 16, Pl. VIII, un four à réverbère activé avec du bois, et tel qu'on le trouve exécuté dans la fonderie de St-Pétersbourg : la grille est supportée dans son milieu par une grosse pièce de fer, ou bien elle est divisée en deux par un mur vertical, de manière que la deuxième moitié A soit de 38 à 46 centimètres plus basse que l'autre. On introduit par deux ouvertures *a* et *d* le bois fendu et coupé en morceaux de 52 à 62 centim. de longueur et de 5 à 8 centim. d'équarrissage ; il doit être d'une parfaite siccité : on le dessèche dans des étuves particulières, qu'on échauffe par des canaux dont la direction est horizontale. Les barreaux de la grille sont espacés de 7 millimètres.

Si les cheminées et les rampans étaient plus larges que

nous ne venons de l'indiquer, il serait impossible de faire entrer la fonte en liquéfaction; parce que la flamme traverserait le foyer trop rapidement et n'y laisserait pas assez de chaleur. Il faut consulter encore l'expérience pour connaître le minimum de largeur qu'on peut donner au rampant de ce four, de manière à produire le degré de chaleur nécessaire pour fondre le fer cru. Il est probable que ces dimensions ne doivent pas être les mêmes si l'on brûle du bois dur, qu'en faisant usage de bois tendre. En Russie, on chauffe les fours avec du bois de pin silvestre. La voûte doit avoir le moins de hauteur possible; puisque le bois produit moins d'effet que la houille: mais la longueur de la sole doit être plus grande par rapport à la largeur; attendu que la flamme du bois est plus longue que celle de la houille. C'est aussi par cette raison que la grille doit être moins élevée.

982. Le travail ne change pas, quel que soit le combustible dont on fasse usage; mais, en chauffant avec du bois, on obtient, à cause des cendres qui sont amenées par la flamme en grande quantité, beaucoup plus de laitier que si l'on brûlait de la houille: ce laitier qui est très-fusible, préserve le fer de l'oxidation.

D'après les expériences qu'on a faites en Russie, il faudrait pour refondre 100 kilog. de fer cru, brûler 0,56 stères de bois parfaitement sec. Si le stère pèse 300 kilog., il s'ensuit que 100 kilog. de métal exigent pour être liquéfiés 168 kilog. de bois de pin; cette consommation est très-forte: on ne peut donc employer le bois que dans les pays où ce combustible est très-abondant.

983. Les fours à réverbère chauffés avec de la tourbe et destinés à refondre le fer cru sont très-rares. Cependant, il pourrait être avantageux d'en construire dans les pays

où les autres combustibles sont d'un prix élevé. Il est probable que la grille devrait être plus étendue en surface, la voûte plus surbaissée encore, s'il est possible, et le rampant un peu plus large qu'ils ne le sont dans les fours chauffés avec le bois; parce que la tourbe donne moins de chaleur que ce dernier, et demande un courant d'air plus fort: mais les dimensions des différentes parties du four ne peuvent se déterminer que par l'expérience. L'analogie paraît indiquer, si l'on compare en général les feux de tourbe aux feux de bois, que la surface de la grille serait à l'aire de la section du rampant, dans le rapport de 7 ou de 8 à 1.

La tourbe ainsi que le bois doivent être dans un état de siccité parfaite; imprégnés d'eau, ces deux combustibles développent peu de chaleur.

Aux forges de Lauchhammer, en Lusace, on a refondu de la fonte provenant de fers limoneux, dans un four à réverbère dont la forme était semblable à celle de la Fig. 17, et qui a été chauffé avec de la tourbe. On en a brûlé, dit-on, un mètre cube par 100 kilog. de fer cru *.

984. Si l'on établit un parallèle entre les différentes méthodes qu'on suit pour refondre le fer cru, il en résultera :

1° Qu'en le liquéfiant au creuset, on consomme beaucoup de matières premières; mais les frais occasionnés par la construction du foyer sont peu considérables : on ne peut suivre cette méthode que pour la fabrication de petits objets de luxe (910);

2° Que la construction des fours à réverbère, assez

---

* Ainsi, prise au volume, cette consommation est presque le double de celle du bois ou presque 12 fois aussi grande que celle de la houille.

Le T.

dispendieuse du reste, à cause de la hauteur des cheminées, exige des matériaux très-réfractaires, et qu'on ne peut d'ailleurs couler avec la fonte de ces foyers de petits objets, à moins d'employer une excellente fonte grise;

3° Que les cubilots peuvent être activés seulement dans les lieux où l'on dispose d'une force motrice suffisante pour mettre les soufflets en mouvement, et que les frais d'établissement peuvent devenir plus grands qu'ils ne le seraient pour les fours à réverbère. Mais on peut refondre aussi dans ces foyers toute espèce de fer cru, ce qui n'a pas lieu pour les autres. En un mot, ces fourneaux de fusion doivent toujours être préférés aux fours à réverbère, s'ils peuvent contenir assez de fer, ou si les objets qu'on veut couler, ne doivent pas avoir un poids trop considérable ni une dureté extraordinaire, jointe à une grande résistance: ces avantages ne peuvent s'obtenir que par l'emploi des fours à réverbère.

Les cubilots occupent les ouvriers d'une fonderie bien plus régulièrement, que ne le font les fours à réverbère: les uns fournissent de la fonte presqu'à chaque demi-heure; tandis que les autres donnent à la fois une grande masse de fonte liquide, qui doit être employée en peu de temps, ce qui exige un fort approvisionnement en modèles et en châssis.

985. Quant à la consommation de combustible, nous avons vu que 1000 kilog. de fonte exigent, pour être refondus dans un cubilot, 1 mètre cube de coke, et dans un four à réverbère, 0,85 mètres cubes de houille. Or, 1 mètre cube de coke correspond à peu près à 1 mètre cube de houille: il faut ajouter de plus au prix du coke, les frais de carbonisation et le déchet considérable qu'il éprouve par le transport. Il s'ensuit que l'emploi des fours à réverbère est beaucoup plus économique sous ce rapport. D'un autre

côté, un mètre cube de coke pèse bien moins que 0,85 mètres cubes de houille, ce qui produit une différence notable dans les dépenses occasionnées par les transports, lorsque les usines sont situées à une grande distance des houillères.

Si l'on emploie du combustible végétal, les résultats de la comparaison seront encore plus favorables, pour les fours à réverbère. Dans ces derniers, on brûle par 1000 kilog. de fonte 5,64 stères de bois sec, et dans les cubilots, le minimum de consommation par 1000 kil. de fer cru est de 4,5 mètres cubes de charbon, qui correspondent au moins à 9 stères de bois. Remarquons toute fois que le bois employé au four à réverbère, a été mesuré après la dessication, qui diminue son volume et augmente les dépenses.

Dans les cubilots, l'effet approximatif d'un volume de coke, est à celui d'un égal volume de charbon végétal dans le rapport de 4 à 1. On doit donc employer de préférence le charbon de bois dans tous les lieux où 100 mesures de l'un coûteraient moins que 25 mesures de l'autre.

Dans les fours à réverbère, l'effet du bois est à celui de la houille, comme 0,85 : 5,63; il s'ensuit que dans tous les lieux où 100 stères de bois sont moins chers que 15 mètres cubes de houille, on doit brûler du bois dans les fours à réverbère.

Du reste ces données sont soumises à de grandes variations *.

---

* On pourrait ajouter encore que les comparaisons faites entre les deux espèces de combustibles dans des foyers dont la température est peu élevée, ne sont pas applicables aux fours à réverbère ni aux cubilots destinés à la refonte du fer cru; parce que toute espèce de combustible doit brûler dans un temps donné pour produire le maximum d'effet, et que dans les foyers activés par un faible tirage, la houille s'éloigne beaucoup plus de ce maximum que le bois; il s'ensuit que dans cette comparaison, l'effet de ce dernier se trouve estimé trop

DE LA FABRICATION DES OBJETS COULÉS.

986. Un maître de forges ne doit pas être étranger à l'art de jeter en moule, puisqu'il y trouve souvent les plus grands bénéfices. On distingue l'art du mouleur de celui du fondeur : l'un ne comprend que les moyens de former les moules pour chaque cas particulier ; l'autre examine les différens procédés, adopte les plus avantageux, s'occupe des dispositions qui doivent précéder et suivre le moulage, enseigne à choisir la fonte, à la liquéfier par la méthode la plus convenable, à lui donner la qualité voulue, à la conduire, à la verser dans les moules. Il s'ensuit que le moulage n'est réellement qu'une branche de l'art du fondeur.

987. Nous avons déjà fait observer qu'on remplit les moules de deux manières différentes : on peut ou conduire le métal au moyen de rigoles dans ces creux artificiels, ou l'y porter dans des poches ou des chaudières. La dernière de ces méthodes convient seulement quand les objets n'ont pas un poids considérable ; dans le cas opposé, on fait un petit canal dans le sable de l'usine, si toutefois on ne se sert pas de conduits en fonte, garnis d'une épaisse couche d'argile fortement desséchée dans des étuves. Les moules qui reçoivent le métal par des rigoles, doivent être

---

fort. Si, par exemple, on brûle dans les salines, pour une partie de houille, deux de bois seulement, il est clair que dans les foyers qui servent à la fusion ou à l'affinage de la fonte, il faudra employer nécessairement une plus grande quantité de bois pour remplacer une partie du combustible minéral. En général, le rapport de la consommation de bois à la consommation de houille s'élevra avec le degré de chaleur qu'on voudra produire. Voyez la note que nous avons ajoutée au paragraphe 593, t. 1, p. 473. Le T.

placés bien au-dessous du niveau qui passe par le trou de la coulée; afin que la fonte puisse s'écouler avec rapidité. Il faut donc que le fourneau s'élève au-dessus du terrain naturel, ou que les moules soient enfoncés en terre.

988. Il existe des objets qui ont 6 à 7 mètres de longueur, et qu'on doit couler dans une position verticale. Si la sole du fourneau devait s'élever de cette quantité au-dessus du terrain naturel, il faudrait que les fondations fussent extrêmement hautes, ce qui gênerait le travail. On préfère donc exhausser la sole de 45 à 50 centimètres seulement, et enfoncer les moules dans la terre. Pour faciliter cette opération, en construisant l'usine, on creuse devant le fourneau, une fosse destinée à cet objet, et remplie ensuite avec du sable. Dans les fonderies où l'on fabrique souvent de grosses pièces, on se dispense de remplir les vides laissés par les pièces, après les avoir retirées de la fosse; cette dernière est dans ce cas revêtue d'un mur et recouverte avec des plaques de fonte, qu'au besoin on peut charger de sable. Les moules placés dans ce trou sont entourés de sable damé. On peut avoir une ou plusieurs de ces fosses à sa disposition.

989. On doit verser la fonte de suite, sans discontinuer; il faut donc que les vases qui la contiennent aient une capacité égale à celle des moules. Si le cas l'exige, on fait usage de grandes chaudières en fonte qu'on remplit, soit en y faisant couler le métal, soit en le puisant avec des poches, et qu'on approche ensuite des moules à bras d'homme ou à l'aide d'une machine.

Les poches sont confectionnées en fer battu. Les chaudières ont ordinairement un bec, afin qu'il soit plus facile de verser la fonte: ces vases sont revêtus intérieurement d'une couche d'argile fortement desséchée.

Les moules doivent être placés assez bas pour ne pas gêner les ouvriers dans la manœuvre de la chaudière; celle-ci ne doit pas contenir beaucoup plus de métal qu'il n'en faut pour couler les objets dont il s'agit; parce qu'on est obligé de répandre le reste sur le sable, de peur qu'il ne se fige dans le vase. On doit avoir une certaine habitude pour estimer la quantité de fonte qui est nécessaire pour chaque pièce; cette habitude s'acquiert très-vite pour les objets que l'on coule fréquemment. On détache le fer cru figé contre les parois des poches ou des chaudières, pour le refondre ensuite après en avoir ôté la terre glaise.

990. Dans une grande fonderie, on a des machines particulières pour mettre les moules vides en place et pour soulever ceux qui sont remplis de fonte. Ces machines sont des grues qui peuvent décrire un cercle entier; elles sont confectionnées en fonte ou en bois; les pivots tournent dans des boîtes, ou leur axe s'appuie simplement sur une plaque de fonte. On s'arrange de manière que plusieurs grues puissent agir sur un seul point, ce qui est souvent indispensable, lorsqu'on veut descendre certains moules dans la fosse et soulever de grosses pièces dont le poids dépasse quelquefois cinq à six mille kilogrammes.

991. Les matières que, jusqu'à présent, on a jugées les plus convenables pour la confection des moules, sont le sable et l'argile, ou bien un mélange de ces deux terres. En n'employant que du sable, on ne fait point sécher le moule, soit parce qu'il se dégraderait, soit aussi parce que la présence de l'eau ne produit d'autre inconvénient que de faire blanchir la fonte à l'extérieur; cependant cet inconvénient est quelquefois très-grave. La fonte grise provenant de minérais réfractaires ne blanchit pas à la surface: elle convient le mieux pour le moulage, parce que les

objets confectionnés avec cette fonte et coulés même en sable très-humide, se laissent encore travailler au foret, au ciseau, etc. : c'est dans le plus grand nombre des cas le meilleur fer cru qu'on puisse employer en première fusion; mais il ne peut servir pour les objets qui doivent offrir une très-grande dureté, ou une très-grande ténacité.

Le peu de cohérence du sable, fait que les vapeurs aqueuses peuvent s'échapper au travers de cette substance avec une grande facilité. Il n'en est pas de même de l'argile; les moules confectionnés avec cette terre ou bien avec un mélange de terre et de sable doivent être parfaitement desséchés, et souvent cuits à une chaleur intense. La fonte versée dans du sable humide prend des soufflures très-nuisibles à la solidité de la pièce. Quant aux suites que peut entraîner une trop faible dessication des moules d'argile, elles sont d'une autre nature, et paraissent ne pas être dues uniquement à la présence de l'eau : la fonte projetée dans ces moules, bouillonne et se répand à grands flots dans l'usine, ce qui semble annoncer un dégagement d'autres fluides élastiques. Toutes les terres argileuses contiennent, à l'état de combinaison avec la chaux ou le fer, une certaine quantité d'acide carbonique qu'on ne peut chasser que par une forte cuisson, et qui finit par s'échapper en entier lorsque le moule rempli de fonte, est pénétré d'une très-forte chaleur.

Nous sommes loin cependant de prétendre que la difficulté qu'éprouvent les vapeurs aqueuses pour traverser une matière aussi compacte que l'argile, ne puisse pas occasionner de fortes explosions: on a souvent remarqué que des moules bien secs et enterrés trop long-temps dans le sable de la fosse, faisaient bouillonner la fonte. Il est donc probable que cet effet est produit par l'une et par l'autre cause, quoique jusqu'à présent on n'ait pas eu égard à la

première, qui cependant explique mieux plusieurs faits qu'on observe dans les fonderies.

992. Quelle que soit du reste la cause de ce bouillonnement, il est certain que pour l'éviter il faut bien sécher et souvent torréfier les moules *. Cette opération, qui se fait avec du bois ou du charbon, a lieu en plein air, dans les fonderies allemandes; mais il en résulte une trop forte dépense en combustible. En Angleterre, on a commencé à construire des étuves closes, fermées par des portes en fer; ces étuves sont appelées, selon le degré de chaleur employé, *chambre de dessication* ou *de torréfaction*. Les premières sont échauffées soit avec du bois soit avec du coke léger, répandu autour des moules, soit aussi avec des conduits de chaleur qui passent sous le sol de l'usine et aboutissent à un poêle. Dans les chambres de torréfaction, on brûle de la houille sur des grilles, et l'on amène par des conduits l'air nécessaire à la combustion; quelquefois aussi les grilles touchent au mur d'enceinte et communiquent alors immédiatement avec l'air extérieur.

Lorsque les moules sont placés dans l'étuve, on allume la houille et l'on ferme l'entrée de la chambre; quelquefois la température s'élève au point de faire rougir les portes.

993. Plus les étuves sont basses, moins on perd de chaleur. Les méthodes qu'on a suivies pour dessécher et cuire les moules, ont été jusqu'à présent très-imparfaites: ce sont particulièrement les chambres de dessication qui sont le plus mal construites. Il est du devoir des commis

* On fait aujourd'hui des mélanges de terre et de sable qui n'ont pas besoin d'être cuits; il suffit, pour prévenir les accidens, de les sécher à une température modérée. Le T.

attachés aux fonderies, de faire remplir les étuves chaque fois le plus possible.

994. Pour faciliter le transport des moules, on établit sur le sol de l'étuve des châssis en fonte sur lesquels roulent de petits chariots en fer et à quatre roues; on place les moules très-pesans à l'aide d'une grue sur les chariots, qu'on ne décharge pas et qu'on laisse dans l'étuve jusqu'à ce que la dessication soit achevée. Cette manière de procéder n'est applicable, du reste, qu'aux moules qu'on peut manier lorsqu'ils sont encore *verts*.

995. La dessication des gros objets massifs, tels que les noyaux de cylindres ou de chaudières, est très-dispendieuse. Ces objets, dont le poids est ordinairement très-considérable et qui n'auraient pas assez de cohérence pour être transportés, sont cuits sur place à l'aide d'un feu de charbon ou de houille; il en résulte une forte dépense en combustible, mais elle est inévitable.

On ne peut nier que jusqu'à présent on n'ait pas encore assez utilisé la chaleur qui se dégage des fours à réverbère et des fourneaux à manche; on ne peut nier non plus que dans les étuves, on ne brûle du combustible inutilement, et que la dessication n'y soit souvent très-imparfaite. On pourrait dessécher certains moules d'une manière plus sûre et plus économique: on devrait calciner dans un four pourvu d'une voûte très-surbaissée, ceux qui sont petits et transportables.

996. On a essayé aussi de cuire les moules sur des plaques en fonte, qui, surmontées d'une voûte, reçoivent la chaleur de plusieurs chauffes disposées au-dessous. On a cru économiser le combustible, attendu que les chambres de dessication sont trop vastes et laissent perdre trop

de chaleur; mais on a été souvent obligé d'abandonner toutes ces méthodes et d'opérer en plein air, parce qu'on n'obtenait que des résultats défectueux. Ce qui me paraîtrait dans certains cas le plus avantageux, ce serait des plaques en fonte chauffées en-dessous et pourvues d'ouvertures au-dessus desquelles on disposerait les moules creux comme par exemple cèux des tuyaux, des canons, des cylindres, etc., de manière que la flamme, les traversant comme des cheminées, les chaufferait en peu de temps jusqu'au rouge; on perdrait alors le moins de chaleur possible. Ce procédé n'offrirait du moins aucun inconvénient pour les moules confectionnés et desséchés dans des caisses en fonte.

997. Tous les moules qui ne sont ni pratiqués dans le sol de l'usine, ni contenus dans des caisses, des *châssis* en bois ou en fonte, doivent être enterrés, afin qu'ils puissent résister à l'effort de la fonte liquide qui tend à les rompre. Placés dans la fosse, ces moules sont entourés de sable qu'on dame avec beaucoup de soin pour ne pas les endommager; enveloppés et couverts entièrement, ils ne laissent plus apercevoir que les ouvertures destinées à recevoir la fonte et à présenter des issues à la vapeur: le sable damé les met alors hors du danger d'être rompus; mais la fonte pourrait néanmoins les soulever en entier ou en partie; ce qu'on prévient en les chargeant de poids, précaution qu'il ne faut jamais omettre.

998. Les dimensions de la fosse, lorsqu'il n'y en a qu'une seule, sont nécessairement calculées sur le volume des plus grosses pièces. Si l'on coulait de plus petits objets, il resterait donc un espace considérable qu'il faudrait remplir avec du sable. Pour éviter l'embarras et les frais de ce travail, on divise la fosse en plusieurs compartimens,

à l'aide de plaques en fonte, assujetties entre elles de la même manière que les plaques qui forment le revêtement d'un fourneau à manche.

999. En versant le métal, il est essentiel que l'on ne discontinue pas avant que le moule soit entièrement rempli, parce qu'il en résulterait des solutions de continuité, si la fonte était un peu froide. Au reste on est maître de régler le jet, par l'inclinaison donnée aux poches ou aux chaudières. Les impuretés qui surnagent doivent être soigneusement écartées avec un morceau de bois, afin qu'elles ne s'introduisent pas dans le moule.

Si la fonte s'écoule du fourneau, on la reçoit d'abord dans un bassin pratiqué dans le sable; on peut y rassembler celle qui provient d'un ou de plusieurs foyers. Un des côtés du bassin est formé par une plaque percée d'un trou, qu'on peut ouvrir ou fermer à l'aide d'une pelle de fer garnie d'une couche d'argile. Il est facile alors de modérer la vitesse du métal qui se rend dans les rigoles; on en sépare, dans le bassin, toutes les matières étrangères qui surnagent.

Il n'est pas indifférent que la fonte arrive avec plus ou moins de vitesse: coulant avec lenteur, elle se fige avant qu'elle n'ait rempli le moule entièrement; versée à grands flots, elle le dégrade en occasionnant d'abord une trop forte pression.

1000. Les moules des gros objets reçoivent la fonte par plusieurs ouvertures appelées *jets;* puisqu'on ne pourrait pas les remplir avec assez de rapidité par un seul conduit. Les endroits où l'on adapte les jets ne sont pas choisis indifféremment. Il est clair qu'ils dépendent avant tout de la position dans laquelle on veut couler l'objet. Un jet mal placé pourrait occasionner la dégradation d'une partie

du moule, qui serait enlevée par la fonte. Cet accident arrive assez fréquemment; on tâche de le prévenir en rompant le fil du courant par des ringards ou des pelles couvertes d'argile, afin de le diviser et d'en ralentir la vitesse.

Pour que le moule ne puisse être dégradé par la fonte, on le met souvent en communication avec le jet par un canal horizontal qui aboutit à la partie inférieure du moule; c'est ce qu'on appelle un *jet à talon*. La fonte ne peut alors remplir le moule qu'à mesure qu'elle s'élève dans la branche verticale du jet. Il peut arriver dans ce cas que le métal n'acquière pas une densité convenable dans la partie supérieure de la pièce. On ne peut donc employer ce moyen pour toutes sortes d'objets, pour des vases, par exemple, qu'on veut exposer au feu et qui, d'après la nature de leur forme, doivent être coulés dans une position telle que leur fond tourné vers le haut, soit rempli le dernier.

1001. Quel que soit du reste l'emplacement du jet, il faut que la hauteur en soit assez grande pour dépasser le point le plus élevé du moule, afin qu'il ne reste aucun vide et que la fonte comprimée par son propre poids puisse acquérir une assez grande densité. En se figeant elle se retire, et la blanche éprouve alors plus de retrait que la grise *.

---

* Ceci est contraire au paragraphe 142. Il est certain que la fonte solide chauffée au rouge surnage dans un vase contenant de la fonte liquide; celle-ci est donc plus pesante et plus dense. Mais il n'en est pas moins vrai que le métal paraît se retirer au moment où il se fige, que la matière s'affaisse dans le jet, qu'on est toujours obligé d'en verser de nouveau pour le remplir à plusieurs reprises, et pour ne pas manquer la pièce. Ces deux faits, dont la vérité ne peut être révoquée en doute, semblent donc impliquer contradiction; cependant on peut les concilier, en songeant que la fonte liquide est mêlée de gaz, et qu'au moment où elle est versée dans le moule, elle entraîne encore dans sa chute, comme tous les autres liquides qui se meuvent dans l'air libre, une certaine quantité de

Pour qu'il ne se forme pas de vides, il faut donc que le jet puisse fournir assez de matière, qu'il ait de grandes dimensions et que le métal ne se fige pas trop promptement; ce qui arrive avec la fonte blanche. C'est pour cette raison que les jets sont évasés dans leur partie supérieure, afin que la fonte s'y maintienne plus long-temps à l'état liquide. Les objets qui doivent être très-compactes, tels que les canons, les cylindres de compression, etc., ont un jet extrêmement gros, appelé *masselotte ;* sa fonction est non seulement d'exercer une forte pression sur la matière liquide, mais aussi de recevoir les impuretés qui surnagent.

La partie inférieure du jet qui communique avec le moule, doit avoir une grande largeur, pour offrir à la fonte un passage facile; mais elle doit être assez mince pour se laisser détacher facilement sans endommager la pièce. Ce n'est que le jet ou la masselotte des bouches à feu que l'on coupe sur le tour *.

1002. La position qu'on donne aux moules pour les remplir de fonte n'est pas indifférente: c'est d'elle que dépend souvent la densité du métal. Si plusieurs moules ont un jet commun, auquel les petits jets particuliers viennent aboutir, on leur donne une certaine inclinaison, pour augmenter la hauteur de la colonne liquide et la pression qui en résulte. On doit en agir de même pour tous les objets qui sont plats: il en est qu'on est obligé de couler dans une position verticale pour être assuré de leur compacité.

---

ce fluide élastique; une partie des gaz se dégage avant que la matière se fige: la nécessité de leur ménager de nombreuses issues le prouve évidemment. Il doit donc se former des vides qu'on est obligé de remplir successivement, ce qu'on appelle *abreuver le moule.* Le T.

* On coupe les jets des flasques avec le ciseau; et l'on fait bien d'enlever de la même manière ceux des bombes et des obus. Le T.

1003. Un point essentiel enfin, c'est de se débarrasser des gaz combustibles qui peuvent occasionner des explosions dangereuses. Si le moule est en sable, ces fluides possèdent peu de ressort, parce qu'ils sont faiblement comprimés : il n'en est pas de même des moules en terre glaise ; ils produisent souvent de terribles accidens. Il faut donc, lorsqu'ils doivent former des pièces creuses, les pourvoir d'évents pour offrir un passage aux gaz inflammables qui s'échappent du noyau*. Ces issues, à moins de communiquer seulement avec le noyau, finissent aussi par se remplir de fonte liquide ; cependant, pour que cela n'arrive que très-tard, on doit les mettre en communication avec le point le plus élevé du moule.

En versant la fonte, on allume avec du bois ou de la paille les gaz qui s'échappent par les évents : ces gaz détonnent d'abord et brûlent ensuite tranquillement jusqu'à la fin de l'opération.

1004. La méthode qu'on suit pour confectionner les moules, dépend de la forme des objets. Les matières employées sont le fer cru même, le sable, l'argile ou un mélange de ces deux terres. L'art du mouleur consiste donc à préparer ces matières et à les configurer de manière que le métal, en se figeant, prenne la forme exacte des objets qu'on veut obtenir.

1005. On donne au mouleur le modèle qu'il doit imprimer dans la terre, ou bien il est obligé de le former lui-même en argile. Ces modèles sont ordinairement en métal, en pierre, en cire ou en bois, et doivent être travaillés de manière (les modèles en cire exceptés) qu'ils

* On est obligé de donner aussi des évents aux moules des flasques et à ceux des autres objets massifs dont le poids est considérable. Le T.

aient un certain retrait appelé *dépouille ;* afin qu'on puisse les faire sortir de la terre ou du sable sans arracher une partie du moule.

Les modèles en bois ne peuvent pas recevoir beaucoup de précision : on ne s'en sert que pour des objets dont les contours n'ont pas besoin d'une grande netteté, et souvent pour ceux qui sont commandés expressément. Les marchandises courantes sont toujours moulées avec des modèles métalliques. Il s'ensuit que dans une grande fonderie, on doit avoir des ouvriers qui sachent tourner les métaux avec précision, et même des sculpteurs pour faire des modèles en cire, en plâtre et en étain.

1006. Tout l'art du mouleur se réduit presqu'à diviser le modèle convenablement. Si cette division est mal faite, le travail devient difficile et l'objet est souvent déparé par des coutures qu'il eût été possible d'éviter. On ne peut mouler en une seule fois qu'une partie du modèle, telle qu'on puisse la retirer du sable sans occasionner aucune détérioration. Il s'ensuit que le moule sera formé d'autant de pièces que le modèle lui-même *.

1007. Lorsqu'on fabrique des objets qui exigent une grande précision sous le rapport des dimensions, comme par exemple des parties de machines qui doivent s'ajuster ensemble, des projectiles, etc., on doit avoir égard au retrait de la fonte ou, pour mieux nous exprimer, à la différence qui existe entre la quantité dont elle se dilate en congelant, et celle dont elle se retire par le refroi-

---

* Le moule se compose souvent de plus de parties que le modèle ; celui d'une poulie, par exemple, est divisé en deux par un plan passant au milieu de la gorge, et le moule se compose de trois parties : de la gorge et des deux plans. Le T.

dissement, cette dernière quantité est ordinairement plus grande que la première. Il en résulte donc un retrait qui varie avec chaque espèce de fonte. Les dimensions des modèles doivent excéder celles qu'on veut donner aux objets coulés, d'une quantité égale à ce retrait, qu'on ne peut déterminer que par l'expérience.

1008. Les moules qui sont confectionnés à l'aide d'un modèle, doivent être contenus dans un châssis, à moins que ce modèle ne soit tellement simple qu'on puisse l'imprimer dans le sable du sol de l'usine. Les châssis se composent de différentes pièces analogues aux diverses parties du modèle. Il existe donc des moules contenus dans deux, trois, quatre ou un plus grand nombre de caisses jointes entre elles d'une manière dépendante de l'odre qu'on est obligé de suivre, pour *démouler* chaque partie du modèle; ces caisses peuvent donc être superposées ou placées l'une à côté de l'autre.

1009. Les châssis sont ou de bois ou de fer coulé. Ceux qui sont confectionnés en bois ne peuvent servir que pour les moules de sable, qu'on n'a pas besoin de faire sécher ou cuire. Ces châssis moins chers que les autres, s'usent plus vite, sont bientôt disloqués et ne comportent pas une grande précision.

Les châssis doivent avoir des dimensions calculées d'après celles de la pièce qu'on veut couler; lorsqu'ils sont trop grands, le travail devient plus long et la dessication plus imparfaite, si toutefois les moules sont en terre mêlée avec du sable, et qu'on veut les dessécher. Trop petits, ils ne contiennent pas assez de sable; le métal est sujet alors à se figer trop vite *. La meilleure épaisseur que puisse avoir le sable ou la terre, est de 4 centimètres.

* Si la couche de sable est trop épaisse, on ne peut plus le [illegible]

La hauteur de la caisse du milieu est rigoureusement déterminée par l'épaisseur de la pièce intermédiaire du modèle.

1010. De très-gros objets dont les châssis ne seraient point maniables, ou bien toutes les pièces qu'on ne fabrique pas habituellement sont moulés en argile et sans modèle. Ce genre de moulage, le plus long et le plus dispendieux, doit être employé le moins souvent qu'il est possible.

1011. Les objets d'art, tels que les bustes ou les statues dont on ne pourrait diviser le modèle, au point d'en imprimer les parties dans la terre et dont le moulage en argile demanderait plus de talent qu'on ne peut en supposer aux ouvriers des fonderies, sont coulés en plâtre sur des modèles de bois, de pierre ou de métal; et avec ce plâtre on fait une empreinte en cire. Cette empreinte placée en entier ou par pièces séparées sur un noyau, de manière que l'ensemble représente parfaitement la forme du corps qu'on veut obtenir, est enduite de plusieurs couches d'argile fine qu'on charge de terre plus grossière, jusqu'à ce que le moule soit entièrement achevé. Cela fait, on chauffe; la cire fond et laisse en s'écoulant, un espace vide que la fonte liquide doit remplir. Souvent aussi on compose le moule d'un grand nombre de pièces, qu'on applique sur le modèle, et qu'on enlève ensuite séparément pour faire sortir ce modèle.

Ces travaux, qui demandent des ouvriers très-habiles, ne peuvent s'exécuter dans toutes les fonderies et ne for-

---

d'une manière très-uniforme, et comme la fonte se dilate en se figeant, elle forme des bosses aux endroits qui offrent le moins de résistance. Il est très-important d'avoir égard à cette considération quand on fabrique des projectiles. Le T.

ment jamais l'objet d'une spéculation permanente, à cause de la cherté des produits et de l'incertitude du débit.

1012. Les moules des marchandises creuses sont quelquefois très-compliqués. Il est évident que tous les creux de la pièce doivent être pleins dans le moule; ces pleins s'appellent *noyaux*. Si les creux ont des dimensions déterminées, on doit confectionner les noyaux dans des boîtes et les recuire avec autant de soin que les moules, souvent même à un degré de chaleur plus élevé.

L'ouvrier a souvent besoin de beaucoup d'adresse, pour fixer les noyaux dans le moule: lorsqu'ils sont petits, on les attache avec des clous; ceux qui sont grands exigent un appui solide et doivent être maintenus assez fortement pour que la fonte ne puisse les déplacer.

1013. Les noyaux de gros cylindres ou de grandes chaudières, construits en maçonnerie, reposent sur une plaque de fonte avec laquelle ils sont transportés et descendus dans la fosse. Ceux qui servent à former les creux intérieurs d'objets plus petits, sont faits en terre glaise appliquée sur des carcasses de bois qu'on enveloppe avec des tresses de paille. Après qu'on a retiré ces tresses, il ne reste qu'un noyau d'une forme creuse. Ceux des tuyaux qui ont une certaine longueur sont modelés de la même manière, à l'aide d'un arbre ou broche en fer enveloppée aussi avec des tresses de paille.

1014. On peut diviser les différens genres de moulages soit d'après la nature des terres, soit d'après la forme des moules.

La qualité que le fer coulé doit avoir, détermine souvent la nature de la matière du moule. Si le fer doit être doux, afin qu'on puisse le travailler avec des outils tran-

chans, on ne peut pas toujours le couler dans du sable maigre, quoique ce genre de moulage soit évidemment le moins dispendieux; il faut donc faire usage de sable gras et recuire les moules. Si les noyaux ont des formes très-compliquées, de manière qu'on ne puisse les assujettir dans le sable maigre, on est encore forcé d'employer le sable gras. Enfin on ne doit mouler en terre glaise que les pièces très-grosses et celles dont la fabrication se présente rarement.

Mais c'est d'après la forme de l'objet qu'on décide si l'on peut couler à découvert, ou s'il faut employer un certain nombre de châssis. Le moulage en châssis diffère donc du moulage à découvert et du moulage en terre glaise; cette division n'est cependant pas caractéristique, parce qu'on fait usage de châssis pour le sable maigre et pour le sable gras.

1015. Il semble donc, d'après ce qui précède, que le moulage doive être divisé de la manière suivante :

1° Moulage en sable maigre ou sablerie;
- *moulage* pratiqué dans le sol de l'usine,
  - A moules découverts,
  - B moules à noyaux,
  - C moules couverts,
- *moulage* en châssis,
  - A moules à deux châssis,
  - B moules à 3, 4, 5, etc., châssis,

2° Moulage en sable gras;
3° Moulage en argile;
4° Moulage des objets d'art.

1016. Il existe encore des moules qui n'ont pas été compris dans cette énumération, ce sont les coquilles de

boulets: ils se distinguent de tous les autres, en ce qu'ils peuvent servir un grand nombre de fois; mais, malgré cet avantage, malgré l'économie et la facilité du travail qui en résulte, les coquilles ne sont guères usitées, attendu qu'il est difficile d'en faire joindre les deux parties avec une certaine précision, que les coutures deviennent très-grosses, que les deux hémisphères ne se correspondent pas très-exactement, que la surface des objets devient très-raboteuse, enfin que la fonte refroidie promptement par les parois de ces moules métalliques, blanchit sur une épaisseur de plusieurs lignes. Le coulage en coquilles, employé anciennement plus qu'il ne l'est aujourd'hui, est devenu très-rare, à cause de l'imperfection de ses produits et des progrès du moulage, en terre ou en sable *.

* Un grand défaut des boulets coulés en coquilles, c'est d'avoir une surface gravée. L'hémisphère supérieur est toujours raboteux après le rebattage, quelque bonne que puisse être la qualité de la fonte; cet effet provient probablement et du refroidissement instantané et de l'oxide qui surnage dans la poche ou qui se forme dans l'air lorsque le métal tombe dans le moule.

Le refroidissement subit fait blanchir la fonte à l'extérieur; les boulets se couvrent alors dans les fours de rebatterie d'une couche d'oxide plus épaisse que s'ils n'avaient pas éprouvé ce changement; puisque la fonte blanche chauffée au rouge est plus oxidable que la grise. Cet oxide se grave dans le métal et laisse en tombant sous le marteau, des marques que le rebattage fait disparaître d'autant moins, que la fonte est devenue blanche rayonnante sur une épaisseur de plusieurs lignes.

L'oxide et d'autres impuretés, qui, dans les moules en sable, sont absorbés par cette matière avec une grande avidité, surnagent d'abord dans les coquilles, et finissent par s'incruster dans le métal qui forme l'hémisphère supérieur du projectile. Le rebattage les fait tomber en partie; mais il ne peut combler les creux qui en résultent, vu le peu de malléabilité de la fonte blanche.

On a vanté comme un avantage des mobiles coulés en coquilles, d'être plus pesans que les autres; mais cet avantage, en tant qu'il est dû au refroidissement subit qui fait blanchir la fonte, doit être regardé comme un résultat immédiat du plus grand inconvénient que présente le cou-

1017. On se sert très-avantageusement des moules en fonte pour couler des cylindres de laminoirs, des enclumes, et tous les objets qui exigent une grande dureté : le fer cru qu'il faut employer doit être de la fonte grise obtenue avec des minérais très-fusibles dans des fourneaux pourvus d'ouvrage d'une faible hauteur. Cette fonte versée dans les moules métalliques, doués d'une grande conductricité, blanchit à la surface, et reste grise dans l'intérieur. Les objets confectionnés de cette manière, offrent le double avantage d'être durs et tenaces à la fois. La fonte grise obtenue par des minérais réfractaires dans des ouvrages d'une grande hauteur, ne pourrait convenir pour

---

lage en coquilles. Pour éclaircir ce point intéressant, nous avons fait avec M. le capitaine Thouvenih, dans les forges d'Hayange, quelques expériences sur la pesanteur spécifique des projectiles. Nous avons soumis à nos observations douze boulets qui étaient tous de fonte grise : la pesanteur spécifique des six qui sortaient des coquilles était, terme moyen, 7,170, celle des boulets coulés en sable, 7,074, celle de plusieurs morceaux de fonte blanche, 7,450. La différence des pesanteurs spécifiques de ces boulets est donc un peu plus forte que le quart de celle qui existe entre la pesanteur de la fonte blanche et celle de la fonte grise: pour raisonner à *fortiori*, supposons qu'elle en soit le tiers. Si, d'après cela, un boulet de 8 en fonte grise était terminé par une enveloppe en fonte blanche, égale à peu près au tiers de son volume, au lieu de peser 7,074, il peserait 7,170. Et en faisant le calcul, on voit que l'épaisseur de cette enveloppe n'est pas seulement de 3 lignes pour le 8 ; or, la plupart des boulets coulés en coquilles ont une enveloppe de fonte blanche d'une épaisseur de 3 lignes, et plus forte encore. Il paraît donc assez probable que la différence de pesanteur entre les projectiles coulés en coquilles et ceux qui le sont en sable, provient en grande partie du blanchiment de la fonte.

Pour prendre les pesanteurs spécifiques, nous avons fait usage d'eau de puits, mais les valeurs relatives des nombres précités n'en sont pas moins exactes.

Cette note a été écrite en 1824. A cette époque, le coulage en coquilles, abandonné maintenant, se pratiquait encore pour le service de l'artillerie, dans plusieurs usines. Le T.

ce genre de fabrication, puisqu'elle ne blanchit guère par un refroidissement subit. L'effet produit par les moules en fer cru est d'autant plus fort, que le métal est plus épais. Pour éviter que ces moules ne soient attaqués par la fonte liquide, on leur donne ordinairement une couche de goudron. Au reste l'objet coulé se retire facilement du moule, à cause du retrait considérable que la fonte éprouve après sa congelation. —Le blanchiment se prolonge de plusieurs lignes dans l'intérieur du métal.

DE LA SABLERIE.

1018. Les moules en sable maigre sont les moins dispendieux à confectionner; il faut donc en faire usage chaque fois que peuvent le permettre la forme des pièces et la qualité que la fonte doit avoir après le refroidissement. Ils se divisent en moules avec ou sans châssis; classification qui n'est déterminée que par la forme de l'objet que l'on veut couler, mais qui établit cependant une grande différence dans la nature du sable qu'il faut employer.

Du moulage pratiqué dans le sol de l'usine.

1019. La partie du sol de l'usine destinée à la moulerie est couverte d'un sable qui, mêlé de poussière de charbon, doit être assez fin pour recevoir des empreintes délicates, et avoir assez de corps, étant humecté, pour conserver une forme reçue. La poussière de charbon en constitue un élément essentiel, parce qu'elle en augmente la porosité, qu'elle facilite le dégagement des gaz, et qu'elle empêche la terre de se vitrifier et de s'attacher aux objets coulés; mais elle détruit la cohérence du sable. Il est assez difficile de lui donner le degré d'humidité le plus avantageux; chargé d'eau, il fait bouillonner la fonte; trop sec, il

s'éboule et ne peut recevoir des arêtes très-vives. On doit le sécher, le remuer, avant d'y imprimer les modèles, pour le rendre moins dense, et plus pénétrable aux vapeurs. Le fer est d'autant plus susceptible de bouillonner et se trouve d'autant plus criblé de soufflures, que le fond du moule est plus compacte.

Dans beaucoup d'usines on remplace la poussière de charbon de bois par la poussière de coke ou le fraisil tamisé, qui souvent ne se compose que d'antracite fibreux. Quelquefois on mêle aussi le sable avec de la houille pulvérisée, mais on doit employer à cet effet, la *houille sèche;* celle qui est grasse ou seulement demi-grasse ne convient guère pour cet objet.

1020. Après avoir travaillé le sable avec une bêche, le mouleur saisit une règle qu'il promène dans tous les sens, en appuyant très-légèrement, jusqu'à ce que le plan formé par cette règle, soit parfaitement horizontal; il s'en assure au moyen d'un niveau de maçon. Unie de la sorte, cette surface est couverte d'une couche de 4 centim. d'épaisseur d'un sable frais passé à travers un tamis d'autant plus fin que la surface de l'objet qu'on veut obtenir doit être plus lisse.

Il faut que le sable soit fin pour des plaques qui doivent porter des inscriptions ou des ornemens. La netteté des contours et de la surface des objets en dépend essentiellement. Il importe pour les fonderies de s'en procurer de très-fin et doué néanmoins d'un peu de liaison, mêlé par conséquent d'une petite dose d'argile qui ne doit pas contenir de fer; afin que le mélange ne puisse pas se vitrifier ni se coller à la surface des objets coulés. En général, toute la masse du sable qui couvre le sol de l'usine et qui doit servir au moulage, devrait être calcinée et tamisée préalablement.

1021. Le modèle placé sur le lit de sable qui a été préparé ainsi que nous venons de le dire, y est enfoncé à petits coups de marteau, jusqu'à ce que la partie inférieure y soit parfaitement imprimée. Pour lui donner une position horizontale, on fait usage du niveau de maçon et l'on frappe sur les parties qui sont trop élevées ; on approche ensuite et l'on serre le sable contre les côtés du modèle, de manière que ce dernier s'y trouve enterré jusqu'au bord supérieur, et qu'étant retiré, il laisse un vide qui lui soit parfaitement égal. Avant de l'enlever, on pratique dans le sable et sous le moule plusieurs ouvertures, à l'aide d'une broche en fer ; ces petits canaux offrent des issues aux gaz et aux vapeurs aqueuses. On creuse ensuite les rigoles qui servent à conduire la fonte. Ces rigoles qui ont peu de longueur et qui aboutissent d'un côté au bord supérieur du modèle, sont terminées de l'autre par une petite fosse peu profonde, où le métal liquide se répand avant d'entrer dans le moule.

1022. Cela fait, on se dispose à retirer le modèle qui porte une anse, lorsqu'il a de grandes dimensions ; dans le cas contraire, on se borne à y enfoncer quelques clous, s'il est en bois, afin d'avoir prise. Pour ne pas dégrader le moule, on commence par en humecter les bords avec un pinceau trempé dans l'eau ; le sable s'imbibe du liquide, acquiert plus de consistance et se retire du modèle, qui, en recevant quelques légers coups de marteau ou de battoir, donnés dans toutes les directions contre l'anse, finit par se détacher, de manière qu'on peut le faire sortir par un mouvement tremblottant. Le moule est nettoyé ensuite par le *champignon* ou *paroir* ; le nom en indique la forme : après cette opération, la surface du moule doit être parfaitement lisse. S'il a souffert, on y place le modèle une deuxième fois : il en est de même si les ornemens ne sont pas bien rendus.

1023. Après avoir réparé le moule, on le saupoudre avec de la poussière de charbon, pour empêcher le contact immédiat de la fonte avec le sable humide, qui la refroidirait trop promptement et la durcirait à l'extérieur. Si la surface du moule est plane, on serre la poussière de charbon contre le sable avec le paroir; dans le cas opposé, on est obligé d'y replacer encore le modèle.

Après avoir terminé ces diverses opérations, on procède à la coulée. Dès que le moule est rempli, on intercepte le passage de la fonte, soit avec une pelle en fer garnie d'une couche d'argile, soit avec un morceau de bois qu'on enfonce sous les rigoles dans le sable, qui en s'élevant alors forme une légère digue: le dernier moyen s'emploie, quand on verse la fonte avec des poches dans cette rigole. Si, malgré les soins qu'on doit prendre pour écarter les impuretés, il en surnage dans le moule, on les retire avec un rable de bois; on fait même usage de cet outil pour répandre la fonte uniformément, si la plaque a une étendue considérable; précaution indispensable lorsque la matière manque de liquidité.

Quand le fer cru commence à se figer, on le couvre entièrement de poussière de charbon, ou bien de sable fin et très-maigre, pour ralentir le refroidissement, pour empêcher les plaques de se *courber*, pour rendre leur surface plus lisse, pour prévenir, ou même pour écraser les soufflures, qui sont un effet de l'oxidation, enfin, pour tempérer la chaleur dans l'usine. On détache ensuite les jets et l'on charge de poids les pièces qui sont minces et dont la surface est très-étendue. Si, malgré ces précautions, les plaques se sont déjetées ou *voilées*, d'après l'expression des ouvriers, on les redresse à coups de marteau après qu'elles sont refroidies, opération qui ne peut s'exécuter que dans le cas où la fonte est très-grise et très-tenace.

Le sable qui a servi au moulage a été calciné par la chaleur; il faut donc l'humecter avant d'en faire usage une seconde fois.

1024. Un mouleur habile n'a souvent besoin que d'une partie du modèle, et il peut même quelquefois s'en passer entièrement. Pour mouler des plaques dont la surface est unie, il lui suffit d'une règle dont la longueur et la largeur soient égales à la longueur et à l'épaisseur de ces objets. Pour faire le moule d'une roue, il n'a besoin que de la partie circulaire et d'un seul des bras, qui lui sert à mouler tous les autres.

1025. Des objets dont les deux surfaces doivent être lisses (le plan supérieur des pièces coulées à découvert est toujours raboteux), et dont l'étendue est si considérable que l'emploi des châssis deviendrait embarrassant, se moulent aussi dans le sol de l'usine; mais on couvre le moule avec une ou plusieurs plaques de fonte, dont la partie inférieure, pourvue de pointes, est revêtue d'une couche d'argile très-unie, desséchée ensuite à l'air et dans les étuves, et noircie avec un mélange de poussière de charbon et d'argile délayée dans l'eau. Desséchées de nouveau, les plaques de *recouvrement* sont disposées sur le moule, de manière que le plan garni de terre soit tourné vers le bas : il faut que dans ce cas le jet soit assez élevé pour que la fonte liquide se trouve pressée contre ces plaques, qui donnent à l'objet coulée une belle surface.

Si l'on emploie plusieurs plaques, elles doivent joindre parfaitement, sans laisser entre elles aucun intervalle.

1026. Les moules des objets qui ne sont pas massifs, ont des *noyaux* en terre ou en sable qui correspondent aux creux qu'on veut produire. Les noyaux en sable

peuvent se confectionner avec le modèle même, lorsqu'il est creux et qu'on peut le remplir de sable au moyen d'une ou de plusieurs ouvertures. Les noyaux en terre, confectionnés à part, doivent être parfaitement séchés, placés dans les moules aux endroits prescrits et chargés de poids, afin qu'ils ne soient pas enlevés par la matière liquide.

Si une plaque doit être pourvue d'une rainure, on enfonce dans le sable, et jusqu'à une profondeur déterminée, une barre de fer noircie qui sert de noyau et qui enduite de charbon ne peut s'attacher à la fonte. On reconnaît toujours l'adresse d'un ouvrier à l'emploi des moyens les plus simples.

On moule aussi des roues dentées sans châssis: mais les noyaux qui doivent former les séparations entre les dents, ne sont point en sable maigre, parce qu'ils n'auraient pas assez de consistance; on les fait en sable gras dans des boîtes particulières, et, après avoir été cuits dans les étuves, ils sont mis en place l'un après l'autre.

1027. On veut quelquefois donner une grande dureté à l'une des faces de la pièce; on place alors dans le moule un gros morceau de fer noirci avec la poussière de charbon. C'est de cette manière qu'on durcit les enclumes, les marteaux et les bocards : pour produire cet effet, on ne pourrait employer du sable humide, parce qu'il ferait bouillonner la fonte.

1028. On fait aussi usage de moules couverts pour des pièces décorées. Les ornemens sont pratiqués alors en sens inverse dans les plaques de recouvrement, ou bien, ils sont imprimés dans le sable d'un châssis qu'on renverse et qu'on place sur le moule; mais il est indispensable que ce châssis ou les plaques, ne laissent aucune issue à la

fonte : le jet doit être plus haut que les parties du moule les plus élevées. On peut couler les balanciers par ce procédé ; la partie inférieure du modèle est imprimée dans le sable du sol de l'usine et l'autre dans le châssis ou dans les plaques de recouvrement.

Du moulage en sable maigre et avec châssis.

1029. Le moulage pratiqué dans le sol de l'usine ne devrait servir à la rigueur que pour des pièces dont la surface est unie, et dont les modèles peuvent être en entier retirés du sable. Au moyen des plaques ou des châssis de recouvrement, on pourrait mouler des objets ornés dont il faut décomposer les modèles. Ce genre de travail fait donc une transition au moulage en châssis, ou pour mieux dire, les moules couverts sont de véritables moules en châssis, dont la partie inférieure est immobile ; mais comme les plaques de recouvrement sont pénibles à préparer, on ne les emploie que dans le cas où l'on n'a point de châssis de grandes dimensions.

Les moules en châssis les plus simples sont ceux qui se décomposent en deux parties, ou ceux qui sont contenus en entier dans une des caisses, tandis que l'autre fait seulement fonction de couvercle. Il est clair que ces châssis doivent s'ajuster parfaitement ; afin que les deux parties jointes ensemble, ne forment qu'un tout égal au modèle. Ce dernier doit être divisé de manière qu'on puisse démouler chaque partie, sans dégrader l'empreinte obtenue.

1030. Comme les moules sont fermés de tous côtés, il est inutile qu'ils reçoivent une position horizontale : on leur donne même une inclinaison, si les pièces sont très-longues, afin que la fonte soit soumise à une plus forte pression, qu'elle remplisse mieux toutes les cavités et

qu'elle devienne plus compacte; mais on ne doit incliner les moules que dans le cas où le noyau ne peut éprouver aucun dérangement *.

Les châssis qui servent au moulage en sable maigre, peuvent se confectionner en fer ou en bois, parce qu'ils ne sont jamais exposés àla chaleur. Pour y retenir le sable, il suffit, s'ils sont petits, qu'on les munisse d'un rebord adapté au côté ouvert; ceux qui ont plus d'étendue et qui sont de fonte, portent en outre des pointes à leurs parois intérieures. Les châssis de bois ont des rainures et sont pourvus de traverses ou liteaux. Il est facile, du reste, de faire tenir le sable dans ceux qui sont étroits, quelle que soit leur longueur. Lorsqu'ils sont très-longs et très-larges, comme ceux qui servent au moulage des grilles, la pièce inférieure est toujours immobile, et l'autre se trouve traversée intérieurement par des liteaux en fer, qui, placés de champ, descendent presqu'aux trois quarts de la hauteur de la caisse et sont espacés entre eux de 15 centim. tout au plus: le mouleur doit alors damer le sable avec beaucoup de soin et le pousser avec les doigts sous les traverses.

1031. Les châssis sont ajustés l'un à l'autre par des liteaux glissant dans une coulisse, et à l'aide de plusieurs gougeons qui entrent dans des trous pratiqués dans l'autre caisse. Le châssis du milieu se divise quelquefois en deux parties qui peuvent être enlevées par le côté, en tiroir, et qui sont jointes l'une à l'autre, ainsi qu'aux

---

* Les moules des obus doivent toujours être placés horizontalement. L'arbre du noyau ne se trouve pas si solidement fixé dans la *barette*, qu'il ne puisse éprouver quelque variation par une inclinaison donnée au châssis; et c'est à ces variations occasionnées par l'entêtement et la négligence des mouleurs, qu'il faut attribuer en partie les excentricités qu'on découvre souvent en recevant ces projectiles. Le T.

deux caisses extrêmes, avec des crochets et des gougeons. Les châssis de gandes dimensions sont assemblés avec des boulons et des clavettes.

La hauteur et le nombre des caisses dépendent entièrement de la division du modèle.

1032. Le sable employé au moulage en châssis doit être plus collant que ne l'est celui qui sert aux moules pratiqués dans le sol de l'usine: il faut donc qu'il contienne un peu plus de parties argileuses. On n'y ajoute point de poussière de charbon, parce que cette substance en détruit la liaison et que d'ailleurs les vapeurs peuvent s'échapper facilement des moules qui sont petits; ceux qui ont de grandes dimensions reçoivent des évents qui offrent aux gaz un passage *.

On calcine le sable avant de l'employer. Il ne doit être ni trop gros ni trop fin; en le frottant entre les doigts, on doit encore sentir les grains. Après l'avoir calciné, on le tamise, on le répand sur une grande surface, on l'humecte et l'on y ajoute du sable plus gras, calciné également et passé par un tamis très-fin; on travaille le mélange et l'on y verse encore de l'eau, quoiqu'en très-petite quantité. Ce mélange doit alors être assez gras pour que, sans contenir beaucoup d'eau, il puisse conserver

---

* Pour faire de la belle poterie et en général des objets dont la surface soit lisse et bien nette, on doit toujours ajouter au sable de moulage de la poussière de charbon. On peut alors employer du sable très-fin, sans qu'il en résulte des soufflures dans le métal, et les objets coulés se dépouilleront parfaitement, sans qu'on ait besoin de les entamer par la rape. On ne doit pas négliger cette règle dans la confection des projectiles; elle offre un moyen certain de leur donner une belle apparence. Bien qu'on puisse employer pour cet effet la poussière de charbon végétal et la poussière de coke, il arrive pourtant que la deuxième est préférable à la première. Le T.

la forme qu'il reçoit étant comprimé dans la main. On le porte ensuite sur le banc des mouleurs, établi le long des murs de l'atelier; c'est sur ce banc, qui doit être suffisamment éclairé, que s'exécute le moulage de tous les objets dont les châssis sont maniables.

1033. On remplit les châssis successivement; l'ordre suivi dépend de la forme du modèle. Lorsque ce dernier a de grandes dimensions et qu'il n'est pas divisé, on le place dans un châssis immobile. Le mouleur commence alors par remuer le sable qui est dans ce châssis pour le rendre moins compacte; il le serre ensuite entre les parois de la caisse et ceux du modèle, au moyen des battes en fer ou en bois. Si le modèle laisse subsister des reliefs qui forment des noyaux, l'ouvrier doit les consolider avec des clous et battre le sable si fortement qu'il puisse à peine recevoir l'impression du doigt. Quand ce travail est terminé, la surface supérieure du modèle se trouve dans le plan des bords du châssis. Après avoir enlevé avec une règle l'excédant du sable, le mouleur saupoudre tout le plan avec de la poussière, qu'il chasse ensuite du modèle seulement, en y soufflant; il place le châssis supérieur en se servant pour cet effet d'une grue, si le cas l'exige, dame le sable entre les liteaux et les traverses, et pose en même temps *le jet* et *les évents*.

Si la position de la caisse inférieure n'est pas horizontale, le jet doit aboutir au point le plus élevé du moule. Les ouvertures qui laissent entrer la fonte, et celles qui offrent un passage aux vapeurs, se ménagent dans le sable avec des morceaux de bois que l'on y enterre, et dont l'une des extrémités touche au modèle, tandis que l'autre dépasse tout le système.

Le sable ne doit pas être battu avec autant de force dans le châssis supérieur qu'il l'est dans l'autre; afin de

ne pas opposer trop d'obstacle au dégagement des vapeurs; mais il doit l'être suffisamment pour ne point s'ébouler. Quand on a fini de le damer, on le perce encore de plusieurs autres ouvertures avec une broche en fer, qui doit pénétrer jusqu'au modèle. Après avoir évasé à l'extérieur les jets et les évents, on retire les morceaux de bois qui ont servi à les former, et l'on soulève le châssis supérieur. La poussière répandue sur le sable de la première caisse empêche l'adhérence : elle présente un moyen certain de séparer les surfaces formées par le sable de deux châssis qui, pendant qu'on remplit le dernier, sont posés l'un sur l'autre.

Dès qu'on a enlevé le châssis supérieur, on creuse, en partant du jet, de petites rigoles qui aboutissent au modèle et qui servent à conduire la fonte par un plus grand nombre de chemins dans le moule, afin que toutes les parties en soient remplies à la fois. On ôte ensuite le sable provenant de ces rigoles et l'on retire le modèle, on *démoule;* opération qui peut exiger la présence de plusieurs ouvriers, à cause des petits noyaux qu'on doit ménager. Cela fait, il faut nettoyer le moule, le noircir, replacer le châssis supérieur, le faire joindre à l'autre avec précision et le charger de poids, pour consolider le système; on procède ensuite à la coulée, pendant laquelle on a soin d'allumer avec du bois ou de la paille, les gaz qui s'échappent par les évents.

Lorsque la pièce est coulée, on retire le châssis supérieur et l'on met à nu les endroits où le métal est le plus épais, afin que le refroidissement soit plus uniforme. En négligeant cette précaution, on peut occasionner la rupture des pièces dont les parties ont des grosseurs différentes.

1034. Quant aux objets qui sont plus petits et dont le

modèle n'est point divisé, on les moule sur les bancs de la manière suivante: le modèle et le châssis appuyés sur une planche garnie en-dessus de deux liteaux qui doivent en faciliter le maniement, sont disposés de façon que le premier soit au milieu de l'autre, et qu'il puisse être retiré du sable après que tout le système a été retourné. Après avoir disposé le modèle de la sorte, le mouleur remplit le châssis de sable damé, le couvre d'une deuxième planche, le renverse, afin de retirer la première, saupoudre la surface du sable avec de la poussière très-fine, place le châssis supérieur, le remplit en ayant soin de former le jet, enlève ce châssis, fait dans le sable une ou plusisurs rigoles à partir du jet, si toutefois ce dernier ne communique pas immédiatement avec le modèle, retire celui-ci, nettoie le moule, le noircit, replace le châssis supérieur, le charge de poids et procède à la coulée.

1035. On suit à peu près le même procédé pour les modèles divisés en deux segmens; on place le premier sur la planche de manière qu'en retournant celle-ci, le plan de jonction se trouve en haut. Lorsque le châssis inférieur est plein de sable damé, le mouleur le renverse; ajuste la deuxième partie du modèle sur la première; place le châssis supérieur, qu'il remplit aussi en ménageant les ouvertures nécessaires, telles que les jets et les évents; sépare ensuite les châssis pour démouler; et assemble de nouveau ces deux caisses qui renferment le moule prêt à recevoir la fonte.

1036. La seule difficulté consiste dans la division du modèle, dont les différentes parties déterminent la forme et les dimensions des caisses qui servent au moulage.

Si deux châssis ne suffisent pas, on fait usage d'un troi-

sième placé au milieu et dont la hauteur dépend entièrement de célle de la partie du modèle qui lui correspond. La forme de l'objet permet souvent de démouler ce tronçon à la fois en enlevant tout le châssis intermédiaire. Quelquefois aussi on ne pourrait retirer du sable la pièce du milieu, si le châssis ne se divisait pas dans le sens vertical, de manière que les deux parties pussent être enlevées *en tiroir*.

1037. En faisant usage de trois châssis, l'ouvrier moule d'abord la pièce intermédiaire, la retourne, place le châssis inférieur, le remplit, renverse le système de nouveau, place le châssis supérieur le remplit aussi, l'enlève après cela pour démouler cette partie, retire aussi le châssis intermédiaire, en ôte le modèle et finit par le châssis inférieur, sans que pour démouler il ait besoin de le retourner. Après avoir nettoyé, paré, noirci les moules, préparé le jets et les évents, le mouleur replace les châssis sur le dernier qui est resté immobile, en commençant par celui du milieu, les fait joindre parfaitement et les charge de poids pour y verser ensuite la fonte.

Si le jet doit être à talon, on doit en placer la partie horizontale en remplissant le châssis intermédiaire. On fait usage de ces jets quand on craint que la fonte ne détruise, par l'impétuosité de son cours, quelques parties délicates du moule.

1038. Les noyaux en sable doivent être établis solidement sur le châssis inférieur. On ne peut donc mouler de cette façon que les objets creux dont la cavité n'est pas trop profonde, par rapport à la base que doit avoir le noyau, qui sans cela, s'écroulerait par son propre poids. Les chaudières, les marmites, les creusets, les vases sont des objets de sablerie; mais on ne peut mouler ainsi des

tuyaux, à moins qu'on ne les compose de cônes ou de cylindres très-courts, ce qui serait désavantageux; il vaut donc mieux confectionner leurs noyaux d'une manière plus solide.

On moule souvent les grandes chaudières en argile, pour éviter la dépense qui résulterait de l'achat d'un modèle; mais on aurait tort de la caindre, lorsqu'on trouve un débit assuré de cette marchandise fabriquée d'après des dimensions constantes; attendu que le moulage en sable est à beaucoup près le moins dispendieux. Pour les grandes chaudières, on n'emploie ordinairement qu'un châssis : le modèle, percé au fond d'une ouverture assez large et placé le fond en l'air sur une couche d'argile préparée convenablement, se remplit ensuite de sable. Après avoir achevé de damer ce sable qui doit former le noyau, on place le châssis, on le remplit aussi, on l'enlève, on ôte le modèle, au moyen du trou indiqué, et l'on remet le châssis en place.

1039. Pour faire le moule en sable d'une très-grande chaudière, on agit à peu près de la manière suivante :

Sur le sol, et après qu'il a été applani et bien damé, on place un châssis très-bas; on le remplit entièrement de sable, que l'on comprime fortement et qu'on égalise ensuite avec une règle. C'est sur ce lit de sable qu'on renverse ensuite le modèle de la chaudière pourvu d'une ouverture au fond qui est en haut. On remplit ce modèle de sable damé, pour former le noyau; on consolide ce dernier en y plaçant plusieurs réglettes en fer, disposées à différentes hauteurs, et l'on y ménage un canal dans la direction de l'axe, pour le dégagement des vapeurs aqueuses. On forme ce canal, en dressant un morceau de bois rond de $0^{m},06$ à $0^{m},08$ d'épaisseur sur le lit de sable du châssis inférieur, et lorsqu'on est arrivé à deux

ou trois pouces au-dessous du point culminant du modèle, on retire ce morceau de bois par le haut, on couvre l'ouverture par une petite plaque de fonte ou par une ardoise, et l'on achève de remplir le modèle avec du sable damé.

Après avoir terminé de cette façon le noyau, égalisé le sable du châssis inférieur, et saupoudré ce sable pour empêcher l'adhérence, on place le châssis supérieur ou le corps de châssis sur le premier. On emploie pour cet effet une grue, afin qu'on puisse le faire descendre avec précaution, et faire entrer les gougeons dans leurs trous correspondans. Si la chaudière doit avoir des anses en saillie, on en place les modèles aux endroits marqués à cet effet, et l'on remplit ensuite la caisse de sable damé.

Lorsque les chaudières sont grandes, on emploie ordinairement trois châssis au lieu de deux, afin de pouvoir les soulever plus facilement et qu'après le démoulage, on puisse vérifier la position des moules par rapport au noyau, et s'assurer que l'épaisseur du métal deviendra uniforme; on procède au reste d'une manière analogue à celle que nous venons d'indiquer.

Après avoir retiré les morceaux de bois qui forment les jets, on enlève d'abord le troisième châssis. Le mouleur nettoie le moule intérieurement et le saupoudre de poussière de charbon. Cela fait, il donne sur le modèle quelques coups de maillet, et fait enlever aussi le deuxième châssis avec les modèles des anses, qui sont imprimés dans le sable et qu'on retire: il nettoie, noircit et pare la partie du moule contenue dans ce châssis. On soulève enfin, à l'aide de la grue, le modèle de la chaudière: on insère pour cet effet, dans l'ouverture supérieure de ce modèle, une pièce de fer pourvue de deux pattes. On s'occupe ensuite à nettoyer, noircir et parer le noyau; on assemble les moules de nouveau, en remettant les châssis en place, et l'on pose des poids sur le sable pour empêcher que la fonte liquide ne puisse le soulever.

Le moule reçoit la fonte, soit par une ou plusieurs chaudières suspendues à des grues, soit par une rigole creusée dans le sable ou confectionnée en métal et recouverte d'une couche d'argile.

1040. Toutes les fontes se durcissent plus ou moins à la surface, quand on les verse dans des moules de sable humide; lorsque cet effet n'est pas à craindre, et que la confection d'un modèle n'entraine pas à une trop grande dépense, on doit, par raison d'économie, préférer toujours ce genre de moulage.

1041. Les moules en sable ont souvent des noyaux en terre: dans plusieurs pays on coule encore les projectiles creux de cette manière. On fixe alors le noyau dans le moule à l'aide de l'arbre qui a servi à le tourner. C'est dans une traverse percée d'un trou, adaptée au châssis supérieur et appelée *barette*, qu'on introduit l'arbre passant par l'œil du projectile; on l'arrête avec des clous ou bien avec une clavette. Afin de ne pas exposer les noyaux en terre à crever, on les fait sécher avec lenteur, on les soumet progressivement à des degrés de chaleur plus élevés et l'on finit par les cuire à un feu de charbon assez intense. La terre glaise avec laquelle on les moule, ne doit pas être très-grasse; on la mêle ordinairement avec du crottin de cheval ou de la pâille hachée. Les arbres sont confectionnés en fonte ou en fer et pourvus d'une rainure longitudinale assez profonde, dans laquelle on place un brin de paille; cette rainure doit offrir un passage aux gaz sortant du noyau.

On ne peut donner aux noyaux en terre grasse dont la dessication est d'ailleurs dispendieuse, des dimensions bien précises, à cause de l'inégalité du retrait qu'ils éprouvent par la calcination. Depuis peu de temps on confectionne

les noyaux en sable gras, dans des boîtes dont la forme intérieure est parfaitement égale à celle que ces noyaux doivent recevoir; il en résulte une grande économie de combustible et de main d'œuvre, et l'on parvient à une rigoureuse exactitude dans les dimensions. — L'arbre qui doit porter le noyau est pourvu de trois ouvertures, dans lesquelles on insère de petits morceaux de bois, qui présentent un appui au sable et l'empêchent de glisser ou de tourner autour de l'arbre. Les boîtes des projectiles sans culot se composent de deux segmens et d'une calotte. Lorsqu'on veut mouler le noyau, on assemble les deux segmens qui s'ajustent par une rainure, on les serre l'un sur l'autre par un double crochet, on remplit l'intérieur de ces segmens avec du sable damé, et l'on finit le globe, en comprimant le sable au moyen de la calotte; retirant ensuite le double crochet, on enlève d'abord la calotte et le segment supérieur, ce qui permet de faire sortir le noyau, qui après cela est paré, noirci, et séché à une chaleur modérée.

1042. Il est probable que bientôt ou fabriquera les moules d'une manière plus avantageuse. Si l'on humecte le sable ordinaire avec une dissolution de sel de cuisine, on le rend susceptible de pouvoir être séché, et de former, étant soumis à une chaleur qui dépasse un peu celle de l'ébullition, une masse très-dure. Ce sable est donc éminemment propre à la confection de certains moules; il ne retient pas l'humidité avec autant de force que l'argile ou le sable gras, et il peut se durcir comme eux sans exiger un si haut degré de chaleur. Cette composition servirait avantageusement pour faire des noyaux de projectiles, qu'on moulerait avec une grande facilité dans une boîte et qu'on ferait sécher à peu de frais *.

* Le sel de cuisine ajouté au sable qui doit servir à la fabrication des noyaux, présente un grave inconvénient, parce qu'il rend ce sable

DU MOULAGE EN SABLE GRAS.

1043. On forme les empreintes dans le sable gras de la même manière que dans le maigre; le travail ne diffère de l'autre que par la préparation de la matière employée et par le traitement qu'on fait subir aux moules achevés. Le sable gras, fait ordinairement de toutes pièces, est un mélange de terre et de sable maigre. Ce moulage n'est donc qu'un moulage en terre exécuté avec des modèles. On en fait usage quand la surface de la fonte doit rester douce, que l'empreinte obtenue en sable maigre ne pourrait se soutenir, et qu'on veut couler de gros objets dont le moule serait exposé à être détruit par le poids et la vitesse de la matière liquide. Il s'ensuit que plus les objets sont pesans, plus le sable doit être gras, afin d'offrir une résistance suffisante; mais on tâche de l'employer un peu maigre, afin qu'il soit facile à sécher.

Dans les usines où les moules sont cuits par un contact immédiat avec la flamme, on les confectionne simplement en terre glaise, à laquelle on n'ajoute que la dose de sable maigre nécessaire pour prévenir le retrait et les crevasses.

1044. Il résulte de la nature de ce genre de moulage, que les caisses qui contiennent les moules, ne peuvent

---

très-hygrométrique. Les moules sont ordinairement préparés pour le moment de la coulée; lorsque la fonte, ce qui malheureusement arrive très-souvent, n'est pas propre à la confection des projectiles, on conserve ces moules pour la coulée suivante. Or, les noyaux en sable salé absorbent l'humidité des moules avec une si grande activité que, mis en place 24 heures d'avance, ils font bouillonner la fonte et manquer la coulée. Ce bouillonnement est quelquefois si fort, qu'une partie des moules se remplissent à peine de moitié, et que les autres donnent des projectiles criblés de soufflures. Voyez, à la fin de ce volume, la notice sur la fabrication des projectiles. Le T.

être confectionnées qu'en fer. Plus épaisses ordinairement que les châssis dont on fait usage dans la sablerie, et munies d'anses pour être plus maniables pendant le moulage, ou lorsqu'on les transporte dans les étuves, elles sont percées de trous, afin de se laisser mieux pénétrer par la chaleur et de présenter moins d'obstacles à la dessication.

1045. Avant de mettre le sable gras en œuvre, on doit le calciner, le passer par un tamis, le travailler, le tamiser une seconde fois et l'humecter ensuite si peu, que, serré dans la main, il puisse à peine conserver la forme reçue. On le dame dans les caisses avec des battes de fer assez pesantes; chaque fois qu'on en ajoute une nouvelle quantité à celui qui est déjà damé, on a soin de gratter la surface pour faciliter la liaison.

1046. Ce sont principalement les objets qui présentent beaucoup de saillies et de creux qu'on doit mouler en sable gras; parce que les moules en sable ordinaire ne seraient pas assez solides: on les dégraderait en y plaçant les noyaux. Il faut donc aussi que l'emplacement de ces derniers soit indiqué sur les modèles par des traits, afin que ces marques puissent guider le mouleur.

1047. Les bouches à feu sont coulées ordinairement en sable gras, d'après des modèles dont les dimensions doivent surpasser celles des pièces de tout le retrait de la fonte et de la quantité de fer qu'il faut enlever sur le tour, pour les polir extérieurement.

Le nombre des caisses placées l'une sur l'autre, dépend et de la forme et de la longueur de la bouche à feu. Le châssis du deuxième renfort, où se trouvent les tourillons, doit avoir deux boîtes latérales. Le modèle confectionné en bois ou en métal est divisé perpendiculairement à l'axe,

tandis que les tuyaux et plusieurs autres objets que l'on coule horizontalement, le sont dans le sens de la longeur; et comme les différentes parties du modèle doivent être retirées du moule dans la direction longitudinale, il n'est pas très-nécessaire que les châssis puissent s'ouvrir et se partager en deux: si on les fait ainsi, c'est uniquement parce qn'on en trouve l'exécution plus facile.

La Fig. 18, Pl. VIII, présente un système de caisses destinées à contenir le moule d'une pièce de 12. A est le châssis de la culasse, de son bouton et de la tige carrée qui sert à fixer le canon sur le banc de forerie; B, le châssis du premier renfort; C celui du deuxième renfort: D celui de la volée; E celui de la tulipe; F celui de la masselotte.

Le mouleur remplit d'abord la caisse B, place C sur B, enlève le tronçon C, sur lequel il place D; ainsi de suite jusqu'à F, et il finit par A. Lorsque tous les moules sont achevés, on les nettoie après en avoir retiré les modèles; on les transporte dans les étuves, on les noircit, on les sèche de nouveau, on les porte séparément dans la fosse, on les assemble en donnant au système la position verticale qu'il doit avoir pour la coulée. Il faut que la fonte soit conduite (dans des rigoles revêtues d'une couche d'argile) jusqu'au-dessus de l'axe du moule, afin qu'en y tombant, elle n'en frappe les parois que le moins possible.

1048. Pour empêcher l'adhérence de deux segmens de moules placés l'un sur l'autre, on fait usage de poussière sèche, comme dans le moulage en sable maigre*.

---

* On ramasse une poussière très-fine dans l'usine où elle se dépose en grande quantité sur les poutres de la toiture ou sur d'autres objets élevés. Le T.

D'ordinaire on enduit les parois intérieures des châssis d'une légère couche d'argile délayée dans l'eau, afin que la terre s'y attache plus fortement.

Pour empêcher le bouillonnement de la fonte et la dégradation des moules, on les dessèche avec le plus grand soin : ils doivent être sonores, si la dessication est parfaite. Il ne faut pas employer des terres que la matière liquide puisse entraîner en fusion, parce qu'elles se trouveraient brasées sur le métal après le refroidissement.

Plus les terres sont grasses, plus les moules sont sujets à se fendre, étant exposés à l'action de la chaleur. On ferme les crevasses avec du sable, ou bien, si elles sont petites, avec la matière liquide qui sert à noircir les moules, et que l'on compose avec de la colle forte, ou de la levure de bierre délayée dans l'eau, en y ajoutant de la farine de blé et de la poussière de charbon obtenue avec du bois dur: on fait bouillir ce mélange qu'on applique avec un pinceau sur les moules en couches très-minces. Le but de cet enduit est d'empêcher le sable de fondre et de se coller au métal. Il s'ensuit que la meilleure composition est un mélange de poussière de charbon et de cendres d'os délayées dans l'eau avec une petite dose de colle forte. Noircis, les moules sont transportés une seconde fois dans les étuves ; mais il suffit alors pour les sécher, de les exposer quelques instans à une faible chaleur.

1049. Les moules de tuyaux ou d'autres objets semblables, reçoivent des noyaux d'argile tournés sur un arbre en fer, ou s'ils sont gros et courts, sur des cylindres creux percés de trous. Pour rendre la dessication plus facile on enveloppe souvent les broches ou les cylindres avec des tresses de paille, que l'on couvre ensuite d'argile. On les tourne à sec et l'on en détermine les dimensions à l'aide d'un compas d'épaisseur.

Tous les autres noyaux se confectionnent dans des boîtes. La plus grande difficulté qu'on éprouve, consiste souvent à leur donner une assiette solide et à les fixer dans le moule.

1050. Les médaillons, les ornemens et les autres articles de luxe, qui semblent ressortir de la sablerie ordinaire, se moulent en sable gras; afin que les empreintes soient plus nettes et que la fonte ne se fige pas trop promptement, qu'elle puisse remplir toutes les parties du moule, qu'elle ne devienne pas trop aigre et qu'elle ne se fende pas en refroidissant.

Le mouleur commence par saupoudrer le modèle de ces objets avec la terre la plus fine, de manière à les couvrir en entier; il remplit ensuite le châssis de terre ordinaire et noircit à l'instant même les empreintes obtenues, en les tenant au-dessus de la flamme d'un morceau de bois de pin dont la fumée se dépose sur le sable : quant aux jets, il les noircit avec la composition précitée. On dessèche ces moules si fortement, que frappés avec le doigt, ils rendent un son très-clair; ajustés après cela l'un sur l'autre, ils sont prêts à recevoir la fonte. Les jets doivent être détachés lorsqu'ils sont encore rouges. Il est évident que le travail ne change point lorsque le modèle est orné sur une ou sur les deux faces.

DU MOULAGE EN ARGILE.

1051. D'après les procédés que nous venons de décrire, la forme des objets qu'on veut mouler en sable s'imprime dans la terre à l'aide d'un modèle; tandis que le mouleur en argile confectionne les moules à la main et à l'aide de calibres. Lorsqu'on moule en sable, on s'occupe d'abord de la forme extérieure de l'objet, et s'il doit être creux,

on y place ensuite le noyau. Le mouleur en argile procède d'une manière opposée: si la pièce doit être creuse, il commence par confectionner le noyau; s'il s'agissait d'une pièce massive, il la ferait d'abord en terre telle qu'elle devrait être en fonte.

1052. Mais les objets entièrement massifs ne se coulent plus en terre. Anciennement ou suivait cette méthode pour les bouches à feu en fer, comme pour celles qui sont en bronze. On confectionnait d'abord en terre toute la pièce, y compris la masselotte, et on la chargeait d'argile; l'enveloppe qui en résultait prenait la forme de ce noyau, et, coupée en plusieurs parties, elle pouvait en être détachée après la dessication : les morceaux réunis avec soin et consolidés entre eux avec des barres et des cercles de fer, composaient le moule qu'on remplissait de métal liquide; le noyau de terre devenait ensuite inutile. Cette méthode longue et dispendieuse, vu qu'on est obligé de refaire le noyau chaque fois, n'offre aucun avantage; c'est à tort qu'on a essayé de la défendre en se retranchant sur la qualité des pièces: coulées en chassis dans le sable gras parfaitement desséché, elles ne le cèdent pas aux autres en ténacité.

On a de même abandonné l'usage de les couler creuses, les gros mortiers exceptés, parce que les parois intérieures des bouches à feu devenaient souvent défectueuses. Du reste, la manière de procéder n'avait rien d'extraordinaire.

1053. La moulerie en terre ne s'occupe donc plus que d'objets creux: elle sert dans le cas où l'on veut éviter les frais de fabrication d'un modèle, ou bien lorsque les pièces sont d'une étendue démesurée, au point que les châssis cesseraient d'être maniables, ou que le poids des noyaux écraserait les moules et qu'il serait trop difficile de les soutenir dans la position voulue.

Le mouleur commence donc à confectionner le noyau et lui donne la forme que doit avoir le vide intérieur du modèle. Appliquant ensuite sur ce noyau plusieurs couches d'argile, il fait une enveloppe appelée *chemise*, dont l'épaisseur est déterminée par celle que doit avoir le métal. La surface extérieure de cette chemise, égale en tous points à celle de la pièce, doit être revêtue ensuite d'une seconde enveloppe nommée *manteau*, qui prend l'empreinte de la première, et qui avec le noyau va constituer le moule en entier; pour l'achever, on retire le manteau et on le remet en place après avoir enlevé et détruit la chemise.

1054. Les objets indispensables au travail du mouleur sont: une terre argileuse bien préparée, une composition qui empêche la chemise d'adhérer au noyau et au manteau, des calibres ou échantillons, qui servent à la confection des noyaux et des chemises, un enduit à noircir les moules intérieurement, des étuves ou d'autres moyens de dessication.

1055. On confectionne les noyaux de diverses manières: ceux dont la forme est ronde et qui appartiennent à de petits objets, sont tournés sur un axe et mis à leurs dimensions au moyen des échantillons; ceux qui doivent servir au moulage des grosses pièces ou des objets qui ne sont pas ronds, se confectionnent sur des plaques en fonte, à l'aide de calibres ou simplement à la main. Les noyaux de grandes dimensions se construisent en maçonnerie, et leur surface extérieure seulement est revêtue d'une couche d'argile; mais ils ne doivent jamais être massifs, parce que le transport en deviendrait embarrassant et la dessication presqu'impossible.

Ces noyaux maçonnés peuvent être ouverts aux deux bases, ainsi qu'on les fait pour les gros cylindres, ou bien

couverts avec des plaques ou des voûtes comme ceux des grandes chaudières; on allège les petits noyaux en nattant *l'arbre* ou le *trousseau* avec de la paille ou du foin cordé, qu'on retire après que l'argile a été séchée à l'air.

1056. En confectionnant les moules, on doit s'occuper aussi de la base qui supporte tout le système. Cette base ne forme ordinairement qu'une seule pièce avec le noyau; afin que la fonte ne puisse soulever celui-ci, en se frayant par le bas un passage difficile à éviter sans cette disposition.

Si les pièces étaient très-volumineuses, comme les grands cylindres, on ne pourrait enlever le manteau, le retirer de la chemise, le sécher, le replacer ensuite après avoir détruit cette dernière, et descendre dans la fosse le moule préparé pour recevoir la fonte. Dans ce cas il faut confectionner le manteau dans la fosse même, l'y sécher parfaitement, construire le noyau dans l'usine sur une plaque en fonte, le descendre et le mettre en place, lorsqu'il est dans un état de siccité parfaite. Il est difficile alors d'empêcher qu'il ne pénètre un peu de matière liquide sous la plaque; mais la masse considérable du noyau chargé d'ailleurs de poids, ne peut être soulevée.

1057. La terre argileuse se prépare avec beaucoup de soin, on doit la passer d'abord par un crible, pour en séparer les pierres et les substances végétales; l'humecter avec de l'eau, et la travailler, jusqu'à ce qu'elle soit devenue très-fine et liante. Pour la rendre moins compacte et pour empêcher qu'elle ne se crevasse, lorsqu'elle est soumise à la chaleur, on y fait entrer des poils, de la paille hachée, ou ce qui vaut bien mieux encore, du crottin de cheval. On pétrit ce mélange avec les pieds jusqu'à ce qu'il prenne la consistance d'une pâte de boulanger.

1058. Les tresses qui servent à natter l'arbre ou le trousseau, sont faites en paille mêlée qu'on humecte d'eau. On les confectionne de la même manière que les cordes en chanvre.

1059. *Les arbres* sont de fer; on leur donne ordinairement une forme conique; leur section perpendiculaire à l'axe est cruciforme. *Les trousseaux* en bois se composent en général de deux disques de diamètres différens et joints ensemble par des liteaux cloués sur tout le pourtour; ce qui leur donne une forme de cône tronqué, dont l'axe est une broche de fer, à laquelle on attache la manivelle qui doit communiquer le mouvement.

1060. Les calibres ou échantillons sont découpés exactement sur les dimensions de la pièce, eu égard à la base qui doit servir à la fois au noyau et au manteau. Il faut deux échantillons différens pour chaque moule, l'un pour le noyau, l'autre pour la chemise.

1061. Afin de pouvoir détacher la chemise du noyau d'un côté et du manteau de l'autre, on les enduit de cendres de bois ou de tourbe délayées dans l'eau. Cette matière qui ne doit pas être si pâteuse qu'elle ne puisse passer par un tamis très-fin, propre à retenir les impuretés les plus grossières, ne doit point avoir une trop grande liquidité, parce qu'elle ne laisserait pas sur l'argile une couche de cendres assez épaisse. Le sable contenu dans ces débris de la combustion, produit souvent un très-mauvais effet. Il faut que l'argile soit parfaitement desséchée avant qu'on y applique une couche de cendres délayées.

1062. On noircit les moules sortis des étuves, de la même manière que les moules confectionnés en sable gras.

1063. Les jets sont formés de tuyaux d'argile qui s'emboîtent à leur extrémité, et dont le dernier, placé dans une ouverture pratiquée dans le moule, est intimement lié au manteau. Les évents sont confectionnés de la même manière. Les jointures doivent être lutées soigneusement.

1064. Tous les moules de cette espèce s'enterrent dans le sable damé, afin que le manteau puisse résister à la pression exercée par la fonte liquide. On doit avoir soin de mettre le creux intérieur du noyau en communication avec l'air extérieur; souvent on ménage dans le sable, sous le moule, une ouverture communiquant avec ce creux; il faut allumer les gaz qui s'échappent par ce canal.

1065. Voici quel est à peu près le procédé qu'on suit pour confectionner les moules d'argile. On commence par le noyau; il se fait soit à la main, soit au moyen d'un échantillon. Après avoir reçu les dimensions exigées, il subit une assez forte dessication: les crevasses qui en résultent ordinairement sont refermées avec une pâte d'argile liquide. On l'achève ensuite; on le polit sur le tour, si la pièce forme intérieurement une surface de révolution, ou bien on l'unit avec une lame de fer; on le dessèche de nouveau, en cas qu'il soit devenu trop humide; on l'enduit de cendres délayées dans l'eau; on le sèche encore une fois, on le revêt d'une couche d'argile formant la chemise, qu'on traite de la même manière pour y appliquer ensuite le manteau. Quant aux ouvertures qu'on voudrait ménager dans la pièce, comme, par exemple, des portes, s'il s'agissait de poêles, on les dessine d'abord sur le noyau principal; à ces endroits, *qui ne doivent pas être couverts d'une couche de cendres*, il se forme alors des masses d'argile, qui, égales à la chemise en épaisseur, ne peuvent s'enlever avec celle-ci, et constituent les noyaux de ces ouvertures.

La forme extérieure du manteau est indifférente; mais les couches intérieures doivent se composer de l'argile la plus fine: il en est de même de la chemise, qui, sans cette condition, ne pourrait laisser sur le manteau une empreinte d'une assez grande netteté.

Après que le manteau a été desséché à l'air et même à une chaleur modérée, on le sépare de la chemise. Il peut en être retiré en entier, si le moule, exempt de noyaux secondaires, a un certain retrait d'une extrémité à l'autre: dans le cas opposé, il faut le couper dans le sens de la longueur, en deux et quelquefois en un plus grand nombre de parties et l'enlever par morceaux. On détache ensuite la chemise, en la brisant et l'on ménage les reliefs qui doivent former des ouvertures. Cela fait, le noyau et le manteau nettoyés, cuits et noircis, sont assemblés de nouveau. Après avoir réuni les différentes parties du moule, on les enveloppe de fil d'archal, on lute les joints et l'on enterre tout le système dans la fosse.

Il est souvent difficile de donner au manteau une assez grande résistance: on le consolide avec des barres de fer liées entre elles et placées en différens sens, de manière cependant qu'il puisse être coupé et détaché de la chemise. L'emploi de ces moyens de consolidation demande quelqu'adresse de la part des ouvriers.

La Fig. 19 (Pl. VIII) représente le moule d'une grande chaudière prêt à recevoir la fonte.

a est la plaque circulaire qui porte le noyau,
b le noyau construit en briques,
c le creux ou le vide intérieur du noyau,
d la plaque qui le couvre et qui remplace la voûte,
e l'enveloppe en terre glaise, mise sur les briques,
f la base ou le pied du manteau,
g la chemise,
h le manteau,

i le moule d'une anse,
k les évents et les jets.

1066. Avant de connaître le moulage en sable gras, on moulait un grand nombre d'objets en argile. Les marchandises étaient classées selon les méthodes qu'on suivait pour les confectionner; mais il vaut bien mieux adopter une classification basée sur les frais de fabrication, parce qu'on est maître alors de faire passer un objet d'une classe à une autre, lorsque la dépense de la main-d'œuvre et des matériaux, force d'en augmenter le prix, ou bien, lorsque le fabricant juge à propos de le diminuer.

La classification des marchandises, très-indifférente pour l'acheteur, n'est du reste qu'une affaire de comptabilité.

1067. Aucune autre usine en fer n'exige une surveillance si active ni une comptabilité si étendue que les fonderies; c'est une suite naturelle de la variété des produits, de la multiplicité des ouvriers dont chacun a son compte à part, parce qu'ils doivent toujours travailler à forfait, enfin de la nécessité de refondre le fer cru tantôt dans les creusets, tantôt dans les fourneaux à manche, tantôt dans les fours à réverbère. Ces opérations doivent être surveillées avec la plus grande exactitude sous le rapport des produits obtenus, de la main-d'œuvre, de la consommation des matières premières et du déchet mis sous forme de *brocaille* (on appelle ainsi la fonte répandue, les jets et les objets brisés). Ajoutons à cela les comptes multipliés qu'entraîne l'achèvement des pièces qui demandent à être polies, forées, tournées, armées, etc., etc. Il résulte de tout ceci une si grande complication d'écritures que, dans une semblable usine, on a souvent besoin de plusieurs personnes pour le travail du bureau.

1068. Les employés ou commis des fonderies doivent suivre sans cesse toutes les opérations manuelles, dans leurs détails les plus minutieux. Il arrive trop souvent que les mouleurs mettent de la négligence ou de la mal-adresse à préparer le sable et à confectionner les moules; qu'ils donnent aux objets une apparence préjudiciable dans le commerce; qu'ils consomment des matières premières et particulièrement du combustible en pure perte; qu'ils répandent la fonte en trop grande quantité; qu'ils en font un mauvais choix, ce qui produit des pièces aigres et criblées de soufflures; qu'ils cherchent à cacher les soufflures en les remplissant de fonte; qu'ils accroissent de cette façon le nombre des rebuts; en un mot, qu'ils augmentent considérablement les frais de fabrication.

Pour offrir à nos lecteurs un aperçu des objets confectionnés aujourd'hui en fonte, et de la manière de les classer, nous leur donnons ici un état de ceux qui sont coulés dans les fonderies royales de Gleiwitz et de Malapane (Haute-Silésie). La première colonne contient les noms des marchandises, la deuxième les classes qui sont désignées par des lettres et dont les prix déterminés par les frais de fabrication, augmentent depuis A jusqu'à N, la troisième enfin, le prix courant de ces objets pris à l'usine.

DÉSIGNATION DES OBJETS COULÉS QU'ON VEND AU POIDS.	CLASSE.	PRIX DE VENTE par 100 kilog.
A.		
		fr.
Alambics pour les distillateurs	G	34,80
(On paye séparément l'ajustement du chapeau.)		
id. de pharmaciens	K	48,60
Ancres pour tirans de murailles, en forme de *s* ou de *x*	B	19,80
Arbres de roues hydrauliques creux	G	34,80
id. massifs	E	27,60
Arceaux de ponts	E	27,60
B.		
Balustres de pont avec leurs plaques	F	31,20
id. d'escalier	H	38,40
Barreaux de fenêtres à système et avec ornemens.	F	31,20
id. simples et coulés en châssis	D	24,00
id. de grilles pour fourneaux avec les supports	A	17,40
Bocards coulés à découvert	B	19,80
id. en châssis	D	24,00
Bornes pour ponts, bords de canaux, places publiques, etc.	F	31,20
Boutons de roues hydrauliques	D	24,00
Buses pour soufflets	G	34,80
C.		
Caisses à air ou caisses à soupapes	G	34,80
id d'une autre espèce	I	42,08
Cammes coulées en châssis	E	27,60
id. coulées à découvert	B	19,80
Carreaux pour tailleurs et chapeliers, non polis.	H	38,40

DÉSIGNATION DES OBJETS COULÉS QU'ON VEND AU POIDS.	CLASSE.	PRIX DE VENTE par 100 kilog.
		fr.
Casseroles avec pieds, dites coquottes.	E	27,60
Chabottes pour enclumes de forge et de tôlerie . .	A	17,40
Chaînes pour décoration de bâtimens ou de places publiques	F	31,20
Chapiteaux pour colonnes.	F	31,20
Chapeaux pour bornes	E	27,60
Chaudières de brasseries . . . . (Si toutefois elles ne sont pas d'une extrême grandeur.)	G	34,80
Chaudières et chapeaux pour raffiner l'arsenic. .	G	34,80
id. pour savonnièr, chapeliers, fabricans de potasse ou de petit plomb . . .	G	34,80
id. plus petites de 50 à 125 kilog., pour faire bouillir de l'eau . . . . (D'après des modèles existans.)	E	27,60
id. d'évaporation.	G	34,80
id. ordinaires.	E	27,60
id. de forme extraordinaire, coulées en moules d'argile	G	34,80
Cheminées composées de plaques coulées à découvert.	E	27,60
Cheneaux pour recevoir l'eau des toitures	E	27,60
Cloches.	G	34,80
Conduits d'eau à rebords de différentes espèces, rectiligne	G	34,80
id. *id.* courbés ou coudés. .	I	42,00
id. de petites dimensions et droits.	H	38,40
id. qui se pénètrent, rectiligne	E	27,60
id. *id.* courbes.	G	34,80
Coffres forts	G	34,80
Colonnes unies pour bâtimens.	F	31,20
id. cannelées.	G	34,80

DÉSIGNATION DES OBJETS COULÉS QU'ON VEND AU POIDS.	CLASSE.	PRIX DE VENTE par 100 kilog.
		fr.
Colonnes creuses	G	34,80
Crèches pour écuries	E	27,60
Crachoirs.	I	42,00
Creusets pour les usines à plomb	G	34,80
Cylindres alésés.	L	57,00
id. bruts.	G	34,80
id. pour machines soufflantes alésés, du poids de 750 kilog. et au-dessus . .	L	57,00
id. au-dessous du poids de 750 kilog. . .	M	64,20
fonds et couvercles de machines soufflantes.	G	34,80
Cylindres pour unir ou pour comprimer la terre.	G	34,80
id. tournés pour tôlerie	L	57,00
id. tournés pour les fabriques de toile peinte.	N	73,22
(Les cylindres commandés sur des modèles particuliers se payent plus cher.)		
D.		
Décrottoirs, fers qu'on place à l'entrée d'une maison	I	42,00
E.		
Encadrements de portes coulés à découvert. . . .	B	19,80
Enclumes pour les grosses forges et pour les tôleries.	A	17,40
id. de maréchal	C	22,20
Empoises de grandes dimensions.	B	19,80
id. de petites dimensions et coulées en châssis.	E	27,60
Escaliers (limon ou arceaux d')	E	27,60
id. (marches d')	E	27,60

DÉSIGNATION DES OBJETS COULÉS QU'ON VEND AU POIDS.	CLASSE.	PRIX DE VENTE par 100 kilog.
F.		
Fourneaux à dessécher la drèche, avec des conduits pour la fumée	D	fr. 24,00
Fourneaux pour chauffer les appartemens, en forme de canon.	E	27,60
id. à pyramides, composés de plaques minces coulées en châssis	E	27,60
Les mêmes, mais coulées à découvert.	B	19,80
id. carrés, composés de plaques coulées en châssis	E	27,60
id. de plusieurs autres espèces et pourvus d'ornemens, pour être chauffés en dedans ou en dehors.	F	31,20
id. ronds de différentes espèces, ornés. .	F	31,20
id. à colonne unie.	E	27,60
id. à colonne cannelée.	F	31,20
id. à marmites.	F	31,20
Fourneaux pour des raffineries de sucre	F	31,20
Frises de colonnes ou de piliers	E	27,60
G.		
Grils de cheminées pour brûler de la houille . .	E	27,60
Grilles ordinaires d'après les modèles existans, pour clore des tombes ou des jardins.	F	31,20
id. pour servir de portes. . . . . (On les paye plus cher quand on les demande d'une forme particulière.)	F	31,20
Grilles avec encadrement en fonte pour chauffer des marmites ou d'autres ustensiles culinaires.	C	22,20
id. carrés coulés en une seule pièce	D	24,00
id. ronds d'après les modèles existans . . .	E	27,60

DÉSIGNATION DES OBJETS COULÉS QU'ON VEND AU POIDS.	CLASSE.	PRIX DE VENTE par 100 kilog.
H.		
Herses de différentes espèces,		fr.
depuis.	G	34,80
jusqu'à	I	42,00
L.		
Lingotières pour les usines à plomb	G	34,80
id. pour l'or, l'argent, le zinc, etc. . .	F	31,20
id. jusqu'à	I	42,00
M.		
Machines à vapeur (parties de):		
Cylindres à vapeur alésés, du poids de 750 kil. et au-dessus.	L	57,00
Cylindres au-dessous du poids de 750 kil.	M	64,20
Pistons de cylindres à vapeur, achevés sur le tour, du poids 300 kil. et au-dessus	L	57,00
Pistons au-dessous du poids de 300 kil.	M	64,20
Fonds et couvercles de cylindre à vapeur.	H	38,40
Soupapes et boîtes à vapeur pour les grandes machines.	K	48,60
Soupapes et boîtes à vapeur pour des petites machines de Boulton et Waat, dont le diamètre du cylindre est de 36 à 40 centimètres	L	57,00
Pistons pour les pompes à eau et à air.	N	73,22
Couvercles pour pompes et condenseurs.	G	34,80
Corps de pompe et soupapes	K	48,60

DÉSIGNATION DES OBJETS COULÉS QU'ON VEND AU POIDS.	CLASSE.	PRIX DE VENTE par 100 kilog.
Machines à vapeur (parties de):		
Empoises et coussinets pour les boutons de balanciers	F	fr. 31,20
Manivelles et simeules	E	27,60
Conduits à vapeur rectilignes	G	34,80
id. coudés	I	42,00
Tuyaux aspirateurs rectilignes	H	38,40
id. courbés	K	48,60
Caisse de condenseur	H	38,40
Registre de cheminée avec les cadres.	E	27,60
Porte du fourneau et de la chaudière avec ferrement	G	34,80
Encadrement de la porte avec les contre-poids	G	34,80
Tiges de piston en fer forgé, polies sur le tour	»	222
Soupapes avec les boîtes polies sur le tour	N	73,22
Caisse de soupape	G	34,80
Portes des caisses de soupapes	E	27,60
Marmites à placer dans des fourneaux	E	27,60
Matrices pour fabricans de boutons	G	34,80
Manivelles à deux branches	G	34,80
id. très-grandes et à trois branches	G	34,80
id. plus difficiles à exécuter	I	42,00
Marteaux à main	F	31,20
Monumens avec inscriptions et ornemens, selon la difficulté de l'exécution,		
depuis	G	34,80
jusqu'à	I	42,00
Mortiers de toute espèce avec leurs pilons	F	31,20
Moutons servant au pilotage	D	24,00

DÉSIGNATION DES OBJETS COULÉS QU'ON VEND AU POIDS.	CLASSE.	PRIX DE VENTE par 100 kilog.
O.		
Ordons composés d'un court carreau, d'un rabat, d'une longue attache et de grandes plaques de fondation.	B	fr. 19,80
P.		
Pendules pour horloges de ville	G	34,80
Pistons de pompe, tournés.	N	73,22
id. non tournés	I	42,00
Platines pour les fers à repasser. (Les fers sont creux.)	E	27,60
Plaques pour feu d'affinerie	A	17,40
id. de toutes les espèces coulées en châssis	D	24,00
id. *id.* coulées à découvert.	A	17,40
id. de pressoirs pour les fabricans de draps, coulées en châssis.	D	24,00
Poêles pour faire la cuisine	F	31,20
Poêlons à coupeller	G	34,80
Poids de 1 à 6 liv.	F	31,20
id. de 6 à 24.	D	24,00
id. de 24 à 40	G	34,80
Pompes avec leurs pistons tournés.	L	57,00
Conduits droits	G	34,80
id. courbes	I	42,00
Potagers	F	31,20
Poulies tournées	N	73,22
id. non tournées	I	42,00
Pots pour l'étamage de la tôle	G	34,80
Poteau de lanterne	G	34,80
Portes pour caves et souterrains	B	19,80

DÉSIGNATION DES OBJETS COULÉS QU'ON VEND AU POIDS.	CLASSE.	PRIX DE VENTE par 100 kilog.
		fr.
Portes pour étuves, et très-grandes	G	34,80
id. pour étuves, mais de petites dimensions. .	K	48,60
Porte-vent rectilignes.	G	34,80
id. courbés ou coudés.	I	42,00
Pressoir d'huilier.	G	34,80
R.		
Rails pour chemins de fer :		
petits et faibles.	D	24,00
grands et coulés à découvert.	B	19,80
Rosettes pour servir d'ornemens ; elles sont numérotées comme les médailles.		
Roues à bras pour marteaux de forge.	B	79,80
id. dentées du poids de 400 kil. et au-dessus.	E	27,60
id. de moyenne grandeur, au-dessous de 400 k. et jusqu'à 75 kil.	G	34,80
id. petites au-dessous de 75 kil.	I	42,00
id. dentées, coniques	I	42,00
id. à gorge	G	34,80
id. à palettes	G	34,80
id. à rochet de petites dimensions et achevées sur le tour.	N	73,22
id. grandes et non tournées	G	34,80
id. pour horloges de ville.	K	48,60
id. pour tourne-broche.	K	48,60
id. pour petites voitures appelées diables. . .	G	34,80
S.		
Soupapes pour pompes, aspirantes ou foulantes, achevées sur le tour.	N	73,22
id. non tournées	I	42,00

DÉSIGNATION DES OBJETS COULÉS QU'ON VEND AU POIDS.	CLASSE.	PRIX DE VENTE par 100 kilog.
T.		
		fr.
Tombes avec inscriptions	I	42,00
id. plus ornées	K	48,60
Trépieds	E	27,60
Tuyères pour soufflet de maréchal	E	27,60
V.		
Vases ordinaires pour piliers de porte	G	34,80
Vis de papetier achevées, sur le tour	»	89,71
id. dont le pas est coulé et non tourné	K	48,60
id. de pressoirs tournées, pour fabricans de draps.	»	89,71
id. *id.* dont le pas est coulé et non tourné	K	48,60
Volants coulés à découvert	B	19,80
id. en châssis	E	27,60
Volets de fenêtres coulés à découvert	B	19,80

DÉSIGNATION DES OBJETS COULÉS QU'ON VEND A LA PIÈCE.	PRIX DE VENTE par pièce.
B.	
	fr.
Boîtes pour tabac à fumer	2,97
id. à priser	1,85
Bougeoirs	1,85
Buste du Roi	5,19
id.	51,95
id. de la Reine Louise	8,95
id. du Prince Royal	12,37
id. de son Altesse Royale Madame	12,37
id. de l'Empereur Nicolas	12,37
id. de l'Impératrice	12,37
id. du Prince Blucher	5,19
id. de Luther	16,08
id. de Milanchton	16,08
id. de Verner	16,08
id. de Formai	18,55
id. de Reden	33,40
id. du Ministre Heinitz	51,95
id. du Ministre Schuckmann	12,37
id. de Scharnhorst, Gœthe et Schiller	5,19
id. du Christ	40,82
C.	
Candélabres	17,32
id.	34,12
id.	27,21
id. très-grands	111,33
Cène (sainte)	18,55
Chandeliers à branches	5,70
id.	6,80

DÉSIGNATION DES OBJETS COULÉS QU'ON VEND A LA PIÈCE.	PRIX DE VENTE par pièce.
	fr.
Chandeliers de comptoir.	1,48
id. avec des figures à genoux	3,95
id. *id.* debout.	2,93
id.	3,71
id.	3,95
Cheminées pour chauffer à la houille.	22,27
id. à registre.	81,64
Coupes ou vases pour fruits, etc.	
N° 1.	5,56
2. à l'antique.	44,53
3.	13,60
4.	6,80
5.	11,13
6. en forme de coquille.	3,70
Crucifix avec son pied.	1,11
id.	2,72
id.	5,56
id.	31,54
id.	55,67
Coffres-forts, n° 1 (avec serrure), de 75 kilog. . .	66,80
id. n° 2 — de 157 kilog. . .	96,48
id. n° 3 — de 225 kilog. . .	137,31
DIMENSIONS DE CES COFFRES.	
Longueur. / Largeur. / Hauteur.	
n° 1. 51 cent / 34 cent / 34 cent	
n° 2. 63 / 38 / 38	
n° 3. 78 / 46 / 46	
Colliers pour dames par 26 millim.	0,25
id.	0,37

DÉSIGNATION DES OBJETS COULÉS QU'ON VEND A LA PIÈCE.	PRIX DE VENTE par pièce.
E.	fr.
Ecritoires	3,71
id. ornées	5,56
id. à tête de Mercure	5,56
id. à tête d'amour	5,56
id. à tête de lion	5,56
id. avec la tombe de Napoléon	5,56
id. avec presse-papiers	10,51
Encensoirs	4,33
id.	2,47
F.	
Flambeaux	5,56
id.	6,18
id. de cinq espèces différentes	1,85
Fléaux de balances. Portant de chaque côté.	
N° 1. longueur $1^m,15$ — 125 à 150 kil.	22,27
2. *id.* $1^m,52$ — 400 à 500	35,38
3. *id.* $2^m,04$ — 700 à 800	59,38
L.	
Lampes pour lustres pourvues d'ornemens	29,69
Lampes ornées	2,22
id.	4,33
id.	13,60
id. à esprit de vin	4,31
M.	
Marteaux de portes	1,60
Médaillons et ornemens,	
N° 1	0,06
2	0,12

DÉSIGNATION DES OBJETS COULÉS QU'ON VEND A LA PIÈCE.	PRIX DE VENTE par pièce.
Médailles et ornemens,	fr.
N° 3	0,18
4	0,25
5	0,31
6	0,37
7	0,42
8	0,61
10	0,74
12	0,85
16	1,11
20	1,36
24	1,60
28	1,98
32	2,22
40	2,72
Montures de pendules à Lyre	2,97
id. à coquilles.	2,97
id. à colonnes et arceaux gothiques.	2,97
Moules de gauffres.	3,09
Moulins pour égruger le blé.	51,95
P.	
Porte-flacons.	2,22
Porte-couteaux, la douzaine.	3,06
Porte-parures ornés d'un serpent.	3,91
Presse-papiers	1,60
id. avec des chiens, des lions, des serpens, etc.	5,55
id. mais plus ornés	8,04

DÉSIGNATION DES OBJETS COULÉS QU'ON VEND A LA PIÈCE.	PRIX DE VENTE par pièce.
S.	
Sonnettes de table représentant une tour gothique . .	fr. 14,84
Statues de $0^m,13$ de hauteur : FRÉDÉRIC second, NAPOLÉON, SON FILS, PONIATOWSKI, BLUCHER et LUTHER.	3,71
id. du prince BLUCHER, $0^m,26$ de hauteur . . .	14,85
id. équestre de FRÉDÉRIC second	51,95
id. plus petite.	9,27
id. de FRÉDÉRIC et de NAPOLÉON, $0^m,19$ de hauteur.	6,18
id. d'ALEXANDRE Ier, empéreur de Russie . . .	18,55
id. de SCHARNHORST et BULOW de $0^m,55$ . . .	33,40
T.	
Tombes du Christ.	7,42
V.	
Vases à l'antique.	23,63
id	33,40
id. plus petits.	5,56
id. pour fleurs.	9,27
id. plus petits mais plus ornés.	11,13
id. très-petits.	3,09

DÉSIGNATION DES OBJETS COULÉS QU'ON VEND A LA PIÈCE.	PRIX PAR PIÈCE	
	émaillée.	non émaillée.
A.		
	fr.	fr.
Assiettes n° 1	0,56	0,31
id. 2	0,74	0,37
C.		
Capsules d'évaporation	4,33	2,72
Casseroles avec un manche en fer forgé,		
1re espèce, ayant un ventre, n° 1	1,60	1,24
id. *id.* 2	1,98	1,36
id. *id.* 3	2,22	1,61
id. *id.* 4	3,22	2,10
2e espèce, de forme cylindrique, n° 1	1,73	1,24
id. *id.* 2	2,16	1,55
id. *id.* 3	2,60	1,85
id. *id.* 4	3,22	2,16
3e espèce, avec anses pendantes, n° 1	0,74	0,31
id. *id.* 2	1,11	0,62
id. *id.* 3	1,73	1,07
id. *id.* 4	2,53	1,70
Chaudières ovales pour cuire des jambons, n° 1	6,50	4,45
id. *id.* 2	8,35	5,69
Chaudières pour thé	4,20	2,97
D.		
Digesteurs n° 1	9,90	8,16
id. 2	11,44	10,20
P.		
Plats n° 1	1,00	0,62
id. 2	2,04	0,99
id. 3	4,08	1,98

DÉSIGNATION DES OBJETS COULÉS QU'ON VEND A LA PIÈCE.		PRIX PAR PIÈCE	
		émaillée.	non émaillée.
		fr.	fr.
Poêles plates, avec ou sans pieds,	n° 1. . .	0,93	0,50
id.	2. . .	1,11	0,68
id.	3. . .	1,55	0,99
id.	4. . .	2,22	1,61
Poêles à colle forte,	n° 1. . .	0,43	0,15
id.	2. . .	0,62	0,37
id.	3. . .	1,11	0,68
id.	4. . .	1,55	1,00
Poêles profondes, avec ou sans pieds,	n° 1. . .	0,62	0,37
id.	2. . .	0,93	0,50
id.	3. . .	1,11	0,68
id.	4. . .	1,55	1,00
id.	5. . .	2,47	1,55
Poêles à frire,	n° 1. . .	1,00	0,50
id.	2. . .	1,85	1,00
id.	3. . .	2,22	1,11
id.	4. . .	2,48	1,24
id.	5. . .	2,97	1,60
id.	6. . .	3,96	1,98
id.	7. . .	4,70	2,35
id.	8. . .	6,18	3,09
Pots à lait,	n° 1. . .	1,48	0,86
id.	2. . .	2,22	1,36
id.	3. . .	2,78	1,60
id.	4. . .	4,33	2,22
Pots (petits) pour crême,	n° 1. . .	0,25	0,12
id.	2. . .	0,37	0,15
Pots de toutes espèces,	n° 1. . .	0,43	0,15
id.	2. . .	0,74	0,31
id.	3. . .	0,93	0,46
id.	4. . .	1,11	0,61

DÉSIGNATION DES OBJETS COULÉS QU'ON VEND A LA PIÈCE.		PRIX PAR PIÈCE émaillée.	PRIX PAR PIÈCE non émaillée
		fr.	fr.
Pots de toutes espèces,	n° 5. . .	1,36	0,77
id.	6. . .	1,55	0,93
id.	7. . .	1,73	1,08
id.	8. . .	1,98	1,24
id.	9. . .	2,16	1,39
id.	10. . .	2,35	1,55
id.	11. . .	2,54	1,70
id.	12. . .	2,72	1,85
id.	13. . .	2,91	2,01
id.	14. . .	3,09	2,16
id.	15. . .	3,34	2,31
id.	16. . .	3,52	2,47
id.	17. . .	3,71	2,63
id.	18. . .	3,95	2,78
id.	19. . .	4,14	2,94
id.	20. . .	4,33	3,09
id.	21. . .	4,58	3,25
id.	22. . .	4,82	3,40
id.	23. . .	5,07	3,55
id.	24. . .	5,25	3,71
id.	32. . .	7,17	4,74
id.	36. . .	8,04	5,56
id.	42. . .	9,27	6,49

DU MOULAGE DES STATUES.

1069. Le moulage des statues exécuté d'après l'ancienne méthode ne se distingue du moulage en terre, que nous avons décrit, que par la substance employée pour la chemise : on la fait en cire, afin que pour s'en débarrasser, on ne soit pas obligé de couper le manteau.

Si une tête ou quelque autre ornement délicat, doit figurer sur un objet fabriqué par le moulage commun, on peut laisser dans le manteau l'empreinte en cire qui représente cette décoration accessoire, et qui se trouvait auparavant fixée sur la chemise d'argile. Il suffit ensuite de faire fondre la cire doucement avant de cuire le manteau, qui en conservera la forme et la communiquera au fer cru. Mais si les ornemens se présentaient en grande quantité, ou si les surfaces avaient des inclinaisons et des formes très-variées, de manière qu'on ne pût enlever le manteau sans dégrader les empreintes obtenues, il faudrait faire toute la chemise en cire. On couvre dans ce cas le noyau avec des empreintes de cire dont les diverses tablettes, réunies de sorte que tous les joints soient effacés, constituent un ensemble parfaitement égal à l'objet qu'on veut obtenir. Cela fait, on enduit la statue de cire d'une couche de l'argile la plus ténue, délayée dans l'eau et mêlée d'un peu de graphite passé au tamis de soie. On laisse sécher; après avoir donné dix à quinze couches, on y applique ensuite une couche d'argile plus épaisse et mêlée avec des poils d'animaux : on a soin de consolider le manteau suivant les moyens précédemment indiqués. Les ouvertures ménagées dans la base du noyau pour l'écoulement de la cire doivent être bouchées, après que cette matière a été fondue et recueillie entièrement. On augmente la température progressivement et l'on calcine le moule à un feu de charbon de bois dont il est enveloppé.

Le noyau doit toujours se cuire d'avance. On ne peut trop soigner ces moules, qui, sujets d'ailleurs à se fendiller, ne peuvent supporter un haut degré de chaleur; attendu que les fentes produiraient des coutures qui nuiraient à la netteté des surfaces. Comme le noyau ne peut avoir partout des dimensions rigoureusement exactes, on y supplée en plaçant sous les empreintes de cire d'autres tablettes de cette matière, qui aient l'épaisseur voulue pour que toutes les parties de la statue reçoivent les justes proportions.

Il est essentiel que les couches d'argile dont se compose le manteau, soient toujours très-minces et puissent sécher long-temps, afin qu'elles ne conservent que le moins d'humidité qu'il est possible.

La cire doit être à la fois tenace et très-fusible. M. Wuttig propose de prendre 60 parties de cire pure; de les fondre avec 10 parties de poix blanche, dans une chaudière, sur un léger feu de charbon; de remuer le tout, en y ajoutant 3 parties de graisse et 2 d'huile de pavot; de passer le mélange par un tissu de laine qui soit chaud et parfaitement sec. Les moules avec lesquels on fait les empreintes de cire, sont en plâtre. Des artistes sont chargés de la confection de ces moules et de toute la statue de cire qui enveloppe le noyau.

1070. On suit maintenant un autre procédé, pour mouler des objets d'art de petites ou de grandes dimensions. Ce moulage se pratique au moyen de châssis et de modèles faits en métal, en bois, en gyps, en argile ou en cire. La terre dont on fait usage pour le manteau doit être extrêmement fine, mais le noyau se fait en sable gras ordinaire. Tantôt le modèle est divisé en un grand nombre de petites parties, qu'on assemble sur le noyau et qu'on retire ensuite une à une du manteau; tantôt le modèle se compose d'une seule pièce, et alors le manteau se divise en un grand nombre

de parties, qu'on enlève séparément; tantôt et c'est le cas le plus ordinaire, le modèle et le manteau sont divisés à la fois. Par la division du moule on n'a d'autre but que de pouvoir retirer le manteau du modèle.

Le moulage se pratique dans des châssis ordinaires : l'adresse de l'artiste consiste à diviser le modèle convenablement, à recomposer le moule de manière que toutes les parties se joignent parfaitement, et à donner au noyau la forme et la position voulues pour que l'épaisseur du métal soit le moins inégale possible. Lorsque les différentes parties du manteau ont été replacées sur le modèle, on remplit les châssis de sable damé; on les enlève ensuite, et l'on retire du modèle les parties du manteau qu'on assemble ensuite dans le moule qu'on vient de faire : on ne peut retirer le modèle qu'après avoir enlevé entièrement le manteau.

Il est impossible que la pièce coulée ne présente aux joints des coutures plus ou moins fines, quelle que soit du reste la dextérité de l'artiste; on enlève ces coutures à la lime, au ciseau ou bien avec un grès qui fait fonction de meule.

Si le modèle est bien divisé le travail du mouleur devient beaucoup plus facile.

DE L'ACHÈVEMENT DES OBJETS COULÉS.

1071. Sortis de la main du mouleur, les objets sont loin d'être achevés : quelque soin que prenne cet ouvrier, il ne peut empêcher qu'il ne se forme des coutures à la jonction des châssis; souvent aussi le sable adhère à la fonte, s'y vitrifie et rend la surface du métal raboteuse et difforme, inconvénient que le mouleur doit craindre, mais qu'il ne peut pas entièrement éviter; enfin les jets laissent souvent des marques trop visibles. Il faut donc enlever ces inégalités et tout ce qui est étranger à l'objet moulé; c'est l'affaire de l'*ébarbeur*. Il se sert pour son travail du ciseau,

du marteau et d'une râpe en fonte dont la forme est celle d'une barre dentée et avec laquelle il détache le sable brasé sur la surface du métal. Mais on ne doit pas trop s'en rapporter aux soins de cet ouvrier; il ne faut pas qu'il soit chargé de pallier la maladresse ou la négligence du mouleur, parce que la netteté des objets ne manquerait pas d'en souffrir; c'est pour cette raison qu'il doit être à la solde de ce dernier *.

1072. Il existe aussi des marchandises qu'on est obligé de soumettre à d'autres opérations avant de les verser dans le commerce. Les différentes parties de certains objets doivent être ajustées avec précision, dans l'usine même; on ne peut s'en dispenser pour les grilles, les ponts en fer, les tuyaux, les machines, etc.: un grand nombre de ces objets doit être armé ou ferré. Le coulage est d'autant mieux exécuté qu'il faut employer moins souvent le ciseau et la lime, pour l'ajustement des différentes parties. Si l'on est obligé de garnir les objets coulés avec des pièces de serrurerie, la fonte doit être douce et grise pour se laisser bien entamer par le ciseau et la lime. Le forage qui devient alors très-facile, s'exécute au moyen d'un foret taillé en langue de carpe, pressé par un mécanisme simple contre l'objet et mis en mouvement à l'aide d'une manivelle.

1073. L'aigreur de la fonte blanche, son extrême fragilité, qui est telle que souvent les objets coulés se brisent d'eux-mêmes au moindre changement de température, et l'impossibilité de la travailler au foret et à la lime, ont

* Ce n'est pas toujours un moyen d'empêcher la négligence des mouleurs; on ne peut y parvenir que par une stricte surveillance, et en rebutant les objets mal coulés. Le T.

engagé Réaumur à chercher un moyen de l'adoucir et d'en augmenter la ténacité (153 et 154). Il a trouvé que, chauffés, dans la poussière de charbon et de cendres d'os, les objets de fonte blanche devenaient moins fragiles; et c'est le procédé qu'il a proposé d'introduire dans les fonderies. Quand les objets coulés sont très-minces, ils se durcissent lors même que la fonte est grise et que les moules sont le moins humides qu'il est possible; le moyen proposé présente dans ce cas d'excellens résultats; les pièces recuites deviennent plus douces et plus ténaces. On doit prolonger le recuit pendant plusieurs jours, lorsque ces pièces ont une certaine épaisseur et qu'on veut les percer au foret ou les travailler à la lime; au reste l'adoucissement produit de bons effets sur les objets minces qu'on veut rendre moins durs et plus résistans, et il convient particulièrement pour la fonte devenue blanche par une seconde fusion opérée dans le four à réverbère.

1074. Il est en outre un grand nombre d'objets qui doivent être émoulus, polis, forés, alésés sur le tour. La première de ces opérations se fait à l'aide d'une meule ordinaire, mise en mouvement par l'eau. C'est ainsi qu'on unit les surfaces des enclumes, des fers à repasser, etc., etc. La meule peut servir aussi à enlever les coutures et les jets; ce qui donne aux objets une plus belle apparence. On pourrait même polir sur des meules à mouvement horizontal toutes les surfaces planes, mais ce degré de poli est rarement exigé. Il est d'ailleurs essentiel que les mouleurs s'habituent à donner aux marchandises des surfaces très-lisses : si les pièces sont raboteuses ou inégales, on est toujours en droit d'accuser les ouvriers de mal-adresse et les commis de négligence.

1075. On polit les balles de fer battu et les boulets de

petit calibre, en les faisant rouler dans un cylindre qui reçoit un mouvement circulaire. Il est évident que ce mouvement ne doit pas être trop rapide et qu'il ne faut pas lisser trop de balles à la fois *.

1076. Pour forer les objets coulés, on emploie des lames d'acier de différentes formes fixées à un manchon qui est assujetti à une tige en fer. Il est essentiel que ces taillans soient confectionnés avec le meilleur acier et par des ouvriers qui sachent le travailler à la température convenable. Il faut que le diamètre de ce manchon ou de la tête du foret, y compris la saillie des taillans, soit égal au diamètre que doit avoir l'objet qu'on veut forer ou aléser. Souvent aussi on passe successivement plusieurs forets dans la pièce, pour la mettre à son juste calibre : c'est ce qui se pratique dans le forage des bouches à feu.

1077. Les machines employées pour forer ou aléser sont très-variées. Il est clair que ces opérations exigent deux mouvemens dont l'un est rectiligne et l'autre circulaire. Si la pièce reçoit le premier de ces mouvemens, le foret doit être animé du deuxième : c'est ainsi qu'on procède pour aléser les tuyaux qui ont peu d'épaisseur. La tige du foret fixée alors au centre d'une roue, reçoit une position horizontale. Le tuyau disposé de manière que son axe coïncide parfaitement avec celui du foret, doit être assujetti d'une manière invariable sur un chariot, qui, mu par des poids, s'avance dans une coulisse sans pouvoir dévier de sa direction. L'avantage de ce genre de mécanisme est d'exercer sur le foret une pression constante, et de faire avancer la pièce d'autant plus vite que la résistance est moins grande.

* Voyez l'appendice de ce volume, sur la fabrication des projectiles. Le T.

1078. Pour des objets pesans, comme des bouches à feu, on procède d'une manière inverse; on les fixe au centre de la roue au moyen de la tige carrée qui est à l'extrémité du bouton de culasse et qui n'a point d'autre fin. C'est donc aux pièces qu'on donne le mouvement de rotation; mais il est nécessaire de les soutenir par des collets, afin qu'elles ne puissent varier dans leur direction. La tige se trouve alors établie d'une manière invariable sur le chariot, et les deux axes ne doivent former qu'une même ligne horizontale; c'est encore en faisant mouvoir le chariot à l'aide d'un poids, qu'on presse le foret contre la pièce et qu'on le force de s'ouvrir un passage dans le métal

1079. Les taillans sont arrondis à leur partie antérieure; afin qu'ils ne puissent s'ébrécher, et que le métal soit mieux attaqué. Il est assez difficile de fixer les forets ou les objets à la roue; il est plus difficile encore de les centrer et de les maintenir dans la même direction. Exécuter le chariot avec la plus grande précision, donner aux coulisses adaptées au banc de forerie une position parfaitement horizontale et assurer la stabilité de la machine au point d'éviter toute espèce de tremblement; ce sont des précautions indispensables, qu'il est presque inutile de rappeler.

La vitesse du mouvement de rotation dépend de la qualité des taillans et de la nature du fer cru dont les pièces sont composées. Les lames se ramollissent d'autant moins, en s'échauffant, que l'acier est plus dur, et la fonte exerce d'autant moins de résistance contre l'action du foret qu'elle est plus grise. La fonte grise refondue dans les fours à réverbère, se laisse aussi forer avec facilité.

L'épaisseur des taillans ou couteaux est un point qui mérite quelque attention: il est certain qu'ils doivent offrir assez de résistance pour ne pas se briser; mais, trop épais,

ils ne pourraient recevoir par la trempe une assez grande dureté. Il est donc essentiel de les rendre le plus minces qu'il est possible, et de ne leur donner sur la tête du foret (1076) que la saillie qui leur est nécessaire pour mordre dans le métal. Les taillans, si les objets ont un faible diamètre, sont fixés dans des mortaises pratiquées dans la tige même, au lieu d'être assujettis à un manchon.

1080. Pour aléser de gros cylindres, on emploie d'autres appareils. On ne peut leur imprimer aucun mouvement, de peur que la plus légère déviation ne produise une grande excentricité. Ces cylindres sont établis sur un emplacement solide et retenus d'une manière invariable au moyen de chaînes ou de cordages.

La tige de l'alésoir qui est polie sur le tour, et dont l'axe ne forme avec celui du cylindre qu'une même ligne horizontale, présente une rainure pratiquée dans le sens d'une arête; elle se trouve fixée d'un côté à la roue dont elle reçoit le mouvement de rotation et s'appuie de l'autre sur un collet. Une moufle également polie sur le tour, pourvue d'un rebord ou d'une rainure circulaire, et percée d'un trou, s'ajuste avec beaucoup de précision sur la tige. Le trou pratiqué dans la moufle reçoit un coulisseau qui entre dans la rainure de la tige, force la moufle de suivre le mouvement circulaire, et lui permet cependant de glisser dans le sens longitudinal. Pour lui imprimer le mouvement de translation, on se sert d'un collier qui est placé dans la rainure circulaire de la moufle, et qui se trouve fixé à un cordage chargé d'un poids; par cette disposition la moufle peut tourner sans entraîner le collier qui lui communique le mouvement rectiligne. Enfin on fixe sur la moufle un manchon armé de 4 à 6 couteaux.

C'est donc à l'aide du coulisseau et du collier que le système reçoit les deux mouvemens. Il est évident qu'une

seule moufle peut servir pour tous les calibres; c'est en raison de cet avantage qu'on emploie cette pièce intermédiaire, qui, du reste, ne fait pas une partie essentielle de la machine. Un point important, c'est de bien centrer le cylindre et de l'établir solidement *.

1081. Il existe en outre des foreries verticales usitées pour les bouches à feu. On préfère celles qui sont horizontales, parce qu'il est plus facile d'y monter les canons, et de les centrer. Dans les foreries verticales, les pièces sont suspendues dans un châssis mobile, et viennent appuyer par leur propre poids contre le foret animé du mouvement de rotation.

---

* Dans la machine qu'on vient de faire connaître, la tige de l'alésoir est animée seulement d'un mouvement de rotation, et le mouvement rectiligne est donné immédiatement à la moufle, montée à coulisse sur la tige. Mais on parvient à une plus grande précision, en fixant la moufle invariablement à la tige, qui doit recevoir alors les deux mouvemens, et qu'on termine à cet effet par une vis qui tourne dans un écrou. Pour empêcher ensuite que cette vis n'avance trop rapidement, on imprime à l'écrou un mouvement de rotation. Si, par exemple, on voulait faire avancer la vis pendant chaque révolution, d'une quantité égale à la trente-sixième partie du pas de la vis, la tige devrait faire une révolution entière pendant que l'écrou ferait sa révolution moins un trente-sixième. Il est évident qu'on atteint ce but en adaptant à la tige une roue A à trente-six dents, qui engrène sur une roue B à trente-sept dents, fixée sur un arbre secondaire, parallèle au premier, et en faisant communiquer ensuite le mouvement à l'écrou, à l'aide de deux roues qui ont un même nombre de dents; l'une est assujettie invariablement à l'arbre secondaire, et l'autre à l'écrou. Ces deux dernières roues se meuvent toujours dans le même plan vertical. Comme la roue A reçoit un mouvement de translation, elle doit le communiquer à la roue B, afin qu'elles ne cessent pas d'engrener : il faut donc que cette dernière soit montée à coulisse et qu'elle se trouve terminée par une joue ou platebande contre laquelle les dents de la première viennent appuyer pour l'entraîner avec elle. *Bulletin de la Société d'encouragement pour* 1823, *page* 11. Le T.

1082. Lorsqu'on tourne un objet extérieurement, on lui imprime toujours le mouvement circulaire; tandis que le mouvement de translation est communiqué aux ciseaux. L'objet se trouve fixé au centre de la roue, ce qui demande quelquefois des dispositions particulières pour empêcher qu'il ne sorte de sa direction. Les couteaux d'acier sont assujettis à un support établi sur un châssis qui, mu par des poids, s'avance dans une coulisse.

C'est donc la grandeur de ces poids qui détermine la pression exercée par les ciseaux dans le sens longitudinal. Pour les appuyer ensuite contre l'objet et les faire mordre constamment de la même quantité dans le métal, on les arrête avec des cales, ou, ce qui est plus exact encore, au moyen d'une vis.

Ce qui a été dit au § 1079 relativement aux taillans des forets, s'applique aussi aux ciseaux de tourneur.

1083. Il est clair que, dans le cas où l'on veut tourner un cylindre, le châssis du banc de forerie doit conserver une direction parallèle à l'axe de la pièce, et que si l'on tourne une surface conique ou toute autre surface, le châssis devra suivre toujours la direction de la génératrice.

Pour couper la masselotte, on presse un couteau avec la main ou bien à l'aide d'une vis ou d'un poids contre le métal.

1084. Après avoir achevé extérieurement les objets coulés, on les couvre quelquefois d'un vernis pour les préserver de la rouille. Cette mesure de précaution peut devenir nécessaire pour ceux de ces objets qu'on manie souvent, ou qui sont exposés à l'air; on s'en dispense pour les vaisseaux culinaires, les fourneaux, etc., attendu que ces vernis n'auraient pas assez de solidité ou parce qu'ils occasionneraient d'autres inconvéniens.

Les objets délicats tels que les médailles, reçoivent un vernis d'huile de lin et de noir de fumée: ce vernis est beau et très-solide. On chauffe ces objets d'art jusqu'au degré de chaleur correspondant aux couleurs du recuit, on les enduit après cela d'une légère couche de cette peinture, et on les entretient à ce degré, jusqu'à ce que le dégagement des vapeurs ait cessé.

Les grosses pièces sont peintes avec du goudron chaud et soumises ensuite à un léger degré de chaleur pour l'évaporation de l'eau: le goudron de houille mérite la préférence.

On frotte avec du sain-doux mêlé de graphite, les pièces émoulues, alésées et tournées. Anderson conseille l'emploi d'une substance que l'on compose de la manière suivante: on chauffe de la litharge saupoudrée de soufre pulvérisé dans une marmite de fer; il en résulte une masse noire, qui, broyée avec de l'huile, forme une couleur sombre, séchant promptement, ayant beaucoup de solidité et s'opposant parfaitement à l'action de l'air atmosphérique sur le métal.

1085. Pour garantir les poêles de la rouille, on leur donne quelquefois une couleur brune par le recuit (113) ou bien on les bronze au moyen d'une dissolution de vitriol de cuivre; mais cet enduit manque de solidité.

1086. Nous avons déjà fait mention aux paragraphes 257, 260 et 266 des différens procédés qu'on suit pour couvrir la surface du fer d'une légère couche d'or, d'argent ou de cuivre; mais la fonte ne se prête pas aussi bien que le fer ductile ou l'acier à ces sortes d'opérations. On la dore et on l'argente avec le vernis de copal et avec des feuilles d'or ou d'argent.

1087. On n'est pas non plus dans l'usage de bleuir la fonte par le recuit, parce que la couleur réussit mal et n'offre pas assez de garantie contre la rouille.

1088. La poterie de fer a le défaut de noircir certains alimens. On tâche de lui ôter ce défaut en y faisant bouillir de l'eau-de-vie, ou mieux encore, des résidus de la distillation; ensuite on frotte les vaisseaux avec un linge et l'on y fait cuire d'abord des substances grasses. En les nettoyant, on ne doit jamais les écurer avec du sable, on doit seulement employer du son, les frotter avec un linge, les rincer avec de l'eau chaude et les renverser.

1089. Mais ce moyen ne suffit pas pour les défendre contre l'action de certains alimens, surtout lorsque ces vaisseaux ne servent que rarement. On a donc essayé de les étamer; cette opération ne peut se pratiquer convenablement qu'autant que la fonte a été tournée : les pores formés par les petites feuilles de graphite interposées entre le métal, sont fermées par le tournage d'une manière tout-à-fait mécanique. Il en résulte un empâtement semblable à celui qu'on observe dans l'intérieur des bouches à feu qui viennent d'être forées; le métal de canons paraît alors homogène, tandis que sur une cassure il se présente comme un mélange.—L'étain s'attache sur la fonte blanche plus difficilement que sur la fonte grise.

L'étamage des objets culinaires a fait beaucoup de progrès chez les Anglais qui expédient un assez grand nombre de ces vases étamés dans l'Amérique méridionale*.

---

* Il serait à désirer que l'étamage des vases culinaires, coulés en fonte, fût introduit en France : le fabricant y trouverait d'ailleurs des bénéfices considérables; ces vases en fonte remplaceraient avec avantage les casseroles en cuivre, si toutefois on les confectionnait avec les soins voulus. En Angleterre on les coule avec de la fonte refondue dans les cu-

1090. Depuis une trentaine d'années, on a tâché de couvrir d'un émail les parois intérieures des pots de fer; c'est un moyen de prévenir la rouille et de protéger ces vases contre l'action des acides faibles. Ces procédés doivent d'autant plus exciter l'attention des maîtres de forges, que la confection des vaisseaux culinaires est une des branches les plus importantes de leur industrie.

Il existe plusieurs recettes pour l'émail; mais la bonne réussite dépend plutôt de la manière d'exécuter le travail: le point essentiel, c'est de rendre la composition très-fusible. Pour cet effet on employait la litharge, croyant qu'à l'état vitreux elle n'exerçait aucune action sur l'économie animale; le contraire est maintenant démontré. On s'est donc efforcé à découvrir des émaux qui ne continssent point d'oxide de plomb.

1091. Pour émailler, on commence par nettoyer la surface des objets, par enlever la couche d'oxide qui les couvre. Il serait trop dispendieux de les polir sur le tour, et l'on ne réussirait pas en les écurant avec du grès, lors

---

bilots. On a bien soin de n'employer que de la fonte très-grise. Malgré cette précaution on recuit les objets coulés dans la poussière de coke à une chaleur très-intense, pendant 36 à 48 heures; afin de les rendre plus résistans et de les adoucir à la surface qui se durcit toujours plus ou moins, lorsqu'on verse la fonte dans le sable humide. Mais après ce recuit, elle devient si douce qu'on n'emploie guère plus de temps pour tourner un vase intérieurement, qu'il n'en faut à nos ébarbeurs pour ôter seulement le sable et les coutures. — Les tours sont de l'espèce dite tour en l'air; on peut en avoir 4 à 5 ou un plus grand nombre rangés de front et mus par un arbre tournant, avec lequel ils communiquent au moyen d'une courroie.

On rend ces vaisseaux culinaires si légers, qu'achevés ils ne pèsent guère plus que nos casseroles en cuivre, et par le recuit ils deviennent plus résistans que nos lourdes marmites en fonte.

Nous prédisons à cette fabrication infiniment plus de succès que n'en aurait celle des vases émaillés, qu'on fait en Allemagne. Le. T.

même que cette opération serait effectuée à l'aide d'une machine : la pierre n'attaquerait que les parties les plus élevées, tandis que les autres resteraient couvertes par la couche d'oxide. On préfère donc le décapage qui est aussi plus économique. L'acide employé pour cet effet, est celui qu'on retire de la fermentation du blé, ou bien l'acide sulfurique étendu d'eau, qui attaque la surface de la fonte avec le plus d'énergie. Lorsque le décapage est terminé, on rince le vaisseau avec de l'eau chaude, et ensuite avec de la froide ; on l'émaille sur-le-champ avant qu'il ne se forme une nouvelle couche d'oxide.

Le mélange de terres qui doit porter l'émail est converti en une pâte très-liquide ; on ajoute à l'eau de l'argile non ferrifère, qu'on mêle avec une petite dose de feldspath pulvérisée pour augmenter la fusibilité de la masse. Préparée de cette manière, la pâte est versée dans le vase qu'on agite circulairement pour l'enduire d'une manière égale. On le renverse ensuite, afin que le superflu de la matière puisse s'écouler. Après qu'il a été retourné de nouveau, saupoudré uniformément avec une substance vitrifiable, réduite en poudre sèche, on le place sous la moufle chauffée au rouge-rose.

1092. La terre qui doit porter l'émail, se compose ordinairement de quartz grillé et pulvérisé ; fondu ensuite par une addition de borax et mêlé après cela intimement avec de l'argile qui a été calcinée d'abord et qu'on a délayée dans l'eau, pour n'en recueillir que les parties les plus fines : ce mélange est mis encore tout humide sous la meule.

La substance vitrifiable qui forme l'émail, consiste en feldspath mélangé avec un peu de soude et de borax ; on y ajoute de l'oxide d'étain pour lui donner la propriété de *couvrir*.

APPENDICE.

NOTICE DU TRADUCTEUR SUR LA FABRICATION DES PROJECTILES.

La fabrication des projectiles trouve sa place dans presque tous les ouvrages sur la Métallurgie du fer; mais dans celui-ci elle a été traitée d'une manière si succincte, et pourtant elle intéresse si vivement les propriétaires de forges, que nous croyons devoir donner plus de développement à ce qui a déjà été dit sur cette matière importante. Nous y sommes d'autant plus portés qu'en le faisant, nous ne sortirons pas du cercle de nos occupations spéciales, et nous pouvons, dans le plus grand nombre des cas, nous en référer à notre propre expérience.

Le but que nous avons principalement en vue, c'est de faire ressortir certains vices de fabrication, et d'indiquer les moyens qu'on doit employer, pour donner aux projectiles une surface unie, un œil dont le contour soit net, une couture mince, des dimensions exactes et une sphéricité parfaite: sous ce rapport aucun détail ne sera négligé; mais nous donnerons moins d'étendue à la description des procédés qui sont connus et dans les usines et par Messieurs les Officiers employés au service des forges *.

* Cette notice est extraite en grande partie d'un cours que nous avons fait, sur le service des forges, pendant les hivers de 1828 et 1829, à l'école régimentaire d'artillerie de Metz.

DE LA FONTE QU'ON EMPLOIE POUR LA CONFECTION DES PROJECTILES.

La fonte qui donne les plus beaux projectiles *creux* est celle qu'on obtient avec des minérais très-fusibles, traités au charbon de bois, dans des fourneaux d'une petite hauteur, à une chaleur moyenne, ou ce qui revient au même, par une allure du fourneau telle que cette fonte soit fortement mêlée, qu'elle incline plus vers la fonte blanche lamelleuse que vers la fonte grise, et qu'on puisse y distinguer encore les lames parsemées de taches grisâtres. La surface du projectile confectionné avec cette fonte très-liquide d'ailleurs, est parfaitement lisse, exempte de soufflures, de pores et d'aspérités, ce qui n'a pas lieu pour ceux qui sont coulés en fonte grise, notamment en fonte grise épaisse. On a vu dans le cours de cet ouvrage que la fonte blanchâtre ne peut s'obtenir d'une manière suivie ni avec des minérais réfractaires, ni même avec des minérais faciles à fondre, réduits au coke, ou traités dans des fourneaux d'une certaine hauteur : cette fonte est d'ailleurs peu propre à la confection d'autres objets, elle ne peut même convenir pour la fabrication des projectiles pleins. C'est pour cette raison, qu'en général, on ne cherche pas à l'obtenir, et lorsqu'elle se présente accidentellement, elle ne peut guères servir, parce qu'elle donne des projectiles trop petits; la fonte blanche ou blanchâtre éprouve plus de retrait en se refroidissant, ou bien au moment de la congélation, elle se dilate moins fortement que la fonte grise. Pour l'employer utilement, il faudrait donc qu'on eût calculé les dimensions du globe sur les propriétés de cette espèce de fer cru.

D'un autre côté, il n'est pas encore prouvé que cette fonte si fragile présente assez de résistance à la force

de la poudre, soit pour ne pas se briser au sortir de la bouche à feu, soit pour donner dans certains cas des éclats assez gros et lancés avec une force suffisante. Cependant elle est employée dans un de nos arrondissemens de forges où elle donne de superbes produits.

Il importe peu, pour la beauté du projectile creux, que la fonte employée soit de bonne ou de mauvaise qualité, sous le rapport du fer qu'elle donne par l'affinage. On peut même affirmer que la fonte de fer tendre qui, en général, jouit d'une très-grande liquidité, convient mieux pour cet objet que la fonte de fer fort, pourvu toutefois que sa mauvaise qualité ne provienne pas de la présence d'une trop grande quantité de silicium, parce qu'il en résulterait des crevasses et des déchiremens (voyez à ce sujet les paragraphes 896 et 897 ainsi que les notes que nous y avons ajoutées).

A moins d'avoir un fourneau particulier à sa disposition, on doit déterminer les dimensions des modèles ou globes, d'après la fonte qui dans l'usine où l'on travaille convient le mieux pour la sablerie, ou pour la majeure partie des objets moulés employés dans la vie domestique, et c'est ordinairement une fonte mêlée. Si cette fonte passait tout-à-fait au gris et qu'elle restât liquide, ce qui aurait lieu si le mélange de minérais et de fondans était un peu réfractaire, elle pourrait encore servir; mais si la fonte grise devenait épaisse et qu'elle expulsât beaucoup de graphite, elle donnerait des projectiles très-poreux, ridés, couverts de crasse et d'un aspect fort désavantageux.

Ce que nous venons de dire de la fonte pour projectiles creux, ne s'applique pas à celle qui doit servir à la fabrication des projectiles pleins; la fonte blanche ou blanchâtre donne toujours des boulets très-laids. Celle qui convient le mieux est la fonte faiblement mêlée, inclinant

plus au gris qu'au blanc, ou bien la fonte grise claire, bien liquide et accompagnée de laitiers purs. Cette fonte s'obtient facilement dans des fourneaux activés au coke ou au charbon de bois. Mais il est à remarquer que la fonte de fer tendre, quelle que soit du reste sa couleur, ne donne pas des boulets aussi beaux que certaines fontes de fer métis ou de fer fort; mais ces dernières sont le plus souvent trop précieuses pour la fabrication dont il s'agit. Cependant, pour obtenir des projectiles pleins d'une surface bien unie, on doit toujours ajouter aux minérais de fer tendre une certaine dose de bons minérais qui, traités seuls, donneraient du fer fort.

On conçoit que la fonte blanchâtre qui, étant versée dans les moules, présente une surface très-unie, puisse donner de beaux obus et qu'elle ne convienne pas pour la fabrication des boulets; parce qu'on est obligé de les lisser et de les rebattre, et que cette fonte se prête mal à l'une et à l'autre de ces opérations: il en est presque de même de toutes les fontes de fer très-tendre; elles ne possèdent pas une assez grande ductilité pour offrir une belle surface après avoir été rebattues.

La fonte grise un peu épaisse occasionne de petites soufflures très-étroites et très-profondes autour du pôle supérieur, surtout lorsqu'elle a été obtenue avec du coke de mauvaise qualité et avec des minérais impurs. Elle se trouve alors chargée de silicium dont une partie se sépare du métal par l'oxidation et le refroidissement: si en outre le minérai est très-fusible, la fonte expulse aussi du graphite en se refroidissant. Ce graphite et la silice expulsés se rassemblent alors au pôle supérieur où, mêlés encore avec une certaine quantité de métal, ils forment une matière molle et spongieuse, qui donne la plus mauvaise apparence au boulet et doit en déterminer le rebut. Lorsque la fonte entièrement grise a été obtenue

au charbon de bois, et avec des minérais plus réfractaires et un peu plus purs, elle devient plus liquide, n'expulse pas une si grande quantité de graphite et convient beaucoup mieux à la fabrication des boulets, dont la surface devient alors très-unie; mais on y remarque encore fréquemment de petites soufflures au pôle supérieur. Plus tard, nous citerons les expériences que nous avons faites sur cet objet.

DE LA FABRICATION DES PROJECTILES CREUX.

Les moules des projectiles creux se font en sable maigre, le noyau se faisait anciennement en terre, maintenant il se fait en sable gras; du moins il faut espérer que cette amélioration sera dorénavant généralement admise.

DU SABLE DE MOULAGE.

Le sable qu'on emploie pour le moulage doit s'extraire de la terre; celui qu'on retire des rivières ne peut servir, parce qu'il n'a pas assez de liant. Son grain doit être fin et sa consistance telle qu'il puisse se peloter un peu étant serré dans la main. Trop gras il se brase sur la fonte et rend la surface des projectiles très-raboteuse : trop maigre il n'a pas assez de consistance, les moules s'ébrèchent et se détériorent. Il est avantageux toutefois que le sable soit le plus maigre qu'il est possible, afin que la surface du projectile se dépouille parfaitement.

Le sable trop gras peut être corrigé facilement par une addition de poussière de charbon, de coke ou de houille, substance très-réfractaire qu'on peut obtenir dans un état de ténuité parfaite et qui s'oppose de la manière la plus énergique à la vitrification et par conséquent à l'adhérence du sable sur la fonte. La poussière de coke ou celle de

la houille est préférable à la poussière du charbon de bois : on ne devrait *jamais* manquer de l'employer pour donner aux projectiles une belle surface.

La calcination présente aussi un moyen d'empêcher le sable de se braser si fortement sur la fonte ; et ce moyen s'emploie naturellement, en faisant resservir celui dans lequel on a déjà coulé d'autres objets. On est obligé de le mêler avec du sable frais pour lui donner plus de consistance, et l'on y ajoute en même temps une certaine quantité de poussière de coke ou de houille pulvérisée.

Avant de faire usage du sable, on commence toujours par le sécher, le passer au tamis, le mélanger convenablement et l'humecter. On ne doit y verser que le moins d'eau possible ; parce que l'humidité peut faire manquer les projectiles : mais il n'en résulte du moins aucun danger pour les ouvriers ; les vapeurs aqueuses, trouvant peu de résistance, se dégagent facilement à travers le sable sans occasionner des explosions, comme il en arrive souvent avec les moules en terre.

DU SABLE A NOYAUX.

Le sable des noyaux doit être naturellement plus gras que celui des moules, afin que les noyaux puissent recevoir un recuit et présenter alors une résistance suffisante, pour ne pas s'ébrécher et pour adhérer convenablement à l'arbre (pièce de fer à laquelle ils sont fixés et qui traverse la lumière). Si le sable était trop gras, la dessication deviendrait incomplète à moins que le noyau ne fût soumis long-temps à une très-haute température. On y remédierait par une addition de sable maigre, de poussière de coke et par le recuit.

En général la qualité du sable et le degré de température qu'on doit employer pour recuire les noyaux sont dé-

pendans l'un de l'autre. On réussit facilement, en donnant aux noyaux un recuit très-fort et suffisamment prolongé. Mais les résultats sont plus sûrs, l'opération est plus prompte et moins dispendieuse, quand le sable n'est ni trop maigre ni trop gras; afin qu'il ne puisse ni s'ébrécher ni retenir l'eau avec trop de force, ce qui exigerait l'emploi d'un haut degré de chaleur. Si sur les lieux on n'en trouvait pas qui pût remplir ces conditions, on le composerait en mêlant du sable maigre au sable gras ou même à la terre glaise, pourvu toutefois qu'elle ne contînt pas trop de parties calcaires: les proportions du mélange se détermineraient en peu de temps par un tâtonnement très-facile. Mais si l'on veut réussir, il faut de toute nécessité régler le recuit d'après les propriétés de la matière employée: quand la coulée est manquée et que les projectiles sont criblés de soufflures, on peut l'attribuer toujours à la présence de l'eau, à l'insuffisance du recuit.

Quel que soit le sable, on le prépare comme le sable maigre. Celui qui a déjà servi une fois ne peut s'employer de nouveau sans être mêlé avec du sable frais (voyez la confection des noyaux en sable).

DE LA TERRE A NOYAUX.

Bien que les noyaux se fassent maintenant en sable gras, nous devons dire quelques mots sur la confection des noyaux en argile, et par conséquent sur la préparation de cette terre: elle est d'ailleurs nécessaire pour la confection de la poupée des noyaux en sable. La terre argileuse retient l'eau avec d'autant plus de force, elle a un retrait d'autant plus grand, et paraît d'autant plus sujette à se fendiller par la dessication, qu'elle est plus grasse. On doit éviter d'employer les terres grises, parce qu'elles ne prennent pas assez de consistance, comme en général toutes les terres qui font effervescence avec les acides.

On fait sécher la terre, on la pulvérise ou pour mieux dire on la bat avec une dame pour écraser les nodules, on la passe au tamis pour en séparer les pierres, on l'humecte et on la pétrit long-temps, en la mêlant avec du crottin de cheval dans les proportions d'un tiers pris à la mesure. La viscosité du jus contenu dans le crottin, empêche la terre de se fendiller, diminue son retrait, la rend moins compacte, moins dure après la cuisson, et plus facile à briser lorsqu'on veut vider le projectile.

La terre qu'on emploie pour mouler le noyau de l'œil, doit être plus fine que la terre ordinaire, on la passe au tamis de soie et on la mélange avec une moindre quantité de crottin. Il devrait en être de même de celle qu'on emploie pour les dernières couches des noyaux confectionnés d'après l'ancienne méthode.

DES GLOBES POUR PROJECTILES CREUX.

Le globe ou le modèle est ordinairement en cuivre jaune: il se compose de deux hémisphères qui s'emboîtent l'un dans l'autre par une rainure, et de manière qu'ils ne se touchent que par la circonférence extérieure: il faut que la partie intérieure soit fortement évidée; c'est un point essentiel. Par cette forme on rend la couture du projectile plus mince qu'elle ne le serait si les deux hémisphères se touchaient sur une plus grande surface. Le métal doit avoir une épaisseur de 3 à 4 lignes, pour ne pas céder sous l'action des battes.

Le diamètre du globe est variable à cause de la dilatation et du retrait qu'éprouvent les fontes: elles se dilatent toujours en passant de l'état liquide à l'état solide, et elles se retirent ensuite par le refroidissement. Ces augmentations et ces diminutions de volume varient non-seulement d'une usine à l'autre, mais aussi avec les diverses espèces

de fonte qu'on obtient dans le même haut fourneau suivant son allure. En général la fonte grise se dilate plus ou se retire moins que la fonte blanche : la première pourrait donner des projectiles trop gros ; tandis que ceux qui seraient coulés en fonte blanche et moulés avec le même modèle, pourraient être trop petits. Il faut donc fixer le diamètre du globe à la longueur voulue pour la fonte qui, dans chaque haut fourneau, paraît la plus propre au moulage, et qu'on doit obtenir le plus souvent. D'un autre côté il est avantageux pour le service de l'Artillerie que les projectiles se rapprochent le plus possible du diamètre de la grande lunette qui, dans le mortier de 12°, dans les pièces de 24 et de 16, diffère du calibre de la bouche à feu de 18 points, et qui dans toutes les autres bouches à feu n'a qu'une ligne de moins que le calibre qui s'y rapporte. Ce n'est que par des tâtonnemens, en faisant d'abord le globe un peu trop gros, qu'on parvient à lui donner le diamètre voulu qui, dans une bonne fabrication, doit être tel que la majeure partie des projectiles obtenus ne passe pas par la lunette intermédiaire. Dans ce cas il arrive souvent, pour les gros calibres, que le diamètre du modèle doit excéder de quelques points celui de la grande lunette.

La poussière de houille ou de coke ajoutée au sable facilite le dépouillement et rend la surface du projectile plus unie ; son diamètre en devient alors plus petit, ou ce qui revient au même, il en passe un plus grand nombre par la lunette intermédiaire ou même par la petite lunette. Si l'on arrose le projectile, quand il est encore chaud, il se retire davantage (voyez coulage et achèvement des projectiles). De là le besoin de se mettre rigoureusement dans toutes les circonstances de la fabrication, lorsque par les premiers tâtonnemens, on détermine les dimensions du globe. S'il était un peu trop petit, on ne pourrait le

corriger en le chargeant d'étain, comme on a voulu le faire quelquefois; il faudrait nécessairement s'en procurer un nouveau, ce qui occasionnerait une assez forte dépense.

Le globe doit être tourné et confectionné dans toutes ses parties avec la plus grande précision. Anciennement les globes de tous les projectiles étaient fortement aplatis aux pôles. On croyait que la fonte se retirait plus dans le sens horizontal que dans le sens opposé. Nous avons combattu cette opinion depuis long-temps. L'expérience nous a prouvé que cette prétendue différence dans le retrait de la fonte n'existe pas. Si des projectiles *d'un poids moyen*, moulés avec des globes sphériques, sont quelquefois alongés, on ne peut l'attribuer qu'à la maladresse des ouvriers qui n'ont pas fait éprouver au sable, dans les environs du pôle inférieur, une assez forte compression. Il arrive alors, surtout pour les gros calibres, que le poids de la fonte fait céder le sable mal damé, ce qui produit l'alongement en question. Lorsque les ouvriers ont le degré d'habileté et d'intelligence qu'on est en droit d'exiger, les globes de tous les projectiles creux, au-dessous du calibre de 10 pouces, doivent être parfaitement sphériques. En les aplatissant on obtient une grande quantité de projectiles aplatis et difformes. Si au contraire, les globes sont sphériques, l'ouvrier parvient en peu de temps à battre le sable convenablement, de manière que le nombre des projectiles alongés est très-petit; tandis que presque tous les autres possèdent une sphéricité parfaite. Les ouvriers préfèrent en général se servir des globes aplatis, parce qu'ils craignent plus d'obtenir quelques projectiles alongés qu'on leur rebute, que de livrer une masse de projectiles plus ou moins mal fabriqués.

Quant aux globes des bombes de 10 ou de 12 pouces, ils peuvent recevoir un aplatissement de 4 à 6 points; attendu qu'il n'est pas toujours possible de damer le sable

assez fortement pour l'empêcher de céder à la compression de ces pesans mobiles. Cette explication de l'alongement des projectiles fait disparaître une opinion absurde qui, des forges de la Moselle, s'était répandue dans tous les arrondissemens du royaume. Au reste, il existe encore d'autres causes d'alongement : il en sera question au moulage.

L'hémisphère supérieur du globe est percé d'un trou rond, destiné à recevoir un arbre en fer, une fusée: dans les bombes de 12°, le trou a 9 lignes de diamètre; la fusée a 7°—4[l] de longueur. Elle se compose de trois parties; l'une est cylindrique et taraudée; elle fixe dans l'intérieur de l'hémisphère une espèce d'anse ou de poignée au moyen de laquelle on peut le manier. La 2[me] partie est un bourlet ou un tronc de cône, dont toutes les dimensions sont parfaitement semblables à un autre bourlet qui se trouve sur l'arbre du noyau: l'un ménage dans le sable le logement qui doit servir à l'autre. La 3[me] enfin est presque cylindrique, ayant aussi un diamètre égal à celui de l'arbre qui porte le noyau. Lorsque nous parlerons des châssis, on reviendra sur cet objet.

L'hémisphère supérieur du modèle des bombes est percé en outre de deux trous rectangulaires pour les mentonnets. Leur emplacement et leur forme ont subi plusieurs variations; voici le dernier tracé suivi maintenant: sur le diamètre perpendiculaire à l'axe passant par l'œil, prenez de part et d'autre 3°—3[l], élevez des perpendiculaires aux points qui déterminent ces distances; avec le rayon de la bombe de 12° augmenté de celui du trou du mentonnet, tracez un arc de cercle qui coupe les deux perpendiculaires et détermine aux points d'intersection les centres des trous des mentonnets. Toutes les bombes étant des corps semblables, les centres des trous des mentonnets sont placés sur les deux mêmes rayons.

Ces trous sont cottés à 4^{l}—6^{pt} pour la bombe de 12^{p}, 3^{l}—9^{pt} pour celle de 10^{p} et 3^{l}—3^{pt} pour celle de 8^{p}. Dans la pratique, on est obligé d'agrandir un peu ces trous, pour procurer aux anneaux le jeu nécessaire.

Il est essentiel que les mortaises des mentonnets soient assez grandes pour que ces derniers restent engagés dans le sable avec les anneaux, après que l'hémisphère est enlevé. Chaque mentonnet se divise en deux parties qui s'assemblent ordinairement par un tenon, de telle manière qu'on puisse les retirer facilement l'une après l'autre, sans déranger l'anneau. Les mentonnets, disposés comme nous l'avons dit, sur un grand cercle, doivent s'appliquer exactement sur le globe et former avec la sphère une surface continue.

Les anneaux, qui ont la forme d'une anse de panier fermé par une droite, doivent être faits avec beaucoup de précision, achevés à la lime, de manière que la soudure, qui est sur la partie droite, soit invisible. On les confectionne avec du fil de fer de $4\frac{3}{4}$ lignes de diamètre. Il est nécessaire qu'ils puissent jouer librement dans les mentonnets et s'abattre en entier sur la surface du mobile. Le diamètre du trou qu'ils forment doit donc être plus grand que le leur: on parvient à le faire, en les enduisant d'une couche de terre glaise, qui doit être bien ronde et fortement recuite. Lorsque la bombe est coulée, on fait tomber cette terre, ce qui donne le jeu voulu.

L'hémisphère inférieur est percé aussi d'un trou qui reçoit une fusée qu'on appelle le faux arbre. Ses dimensions sont arbitraires; il se trouve percé à l'extrémité intérieure d'une mortaise qui reçoit une clavette. L'autre extrémité est aussi percée d'un trou carré dans lequel on introduit une barre de fer ou réglette. Le but de cet arbre est d'empêcher que le globe ne se détache du moule,

lorsqu'on soulève le châssis qui le contient; pour cet effet, on glisse sous la réglette un morceau de bois qui s'appuie sur le bord du châssis, fait fonction de coin, soulève la barre et presse par conséquent le modèle contre le sable.

DE L'ARBRE DU NOYAU ET DES PLANCHES ÉCHANTILLONNÉS.

L'arbre du noyau est divisé en deux par un bourlet de plusieurs lignes de hauteur, en forme de cône tronqué dont la base la plus voisine du noyau a un diamètre qui ne diffère du plus grand diamètre de la lumière que de 3 à 4 points en moins. Le diamètre de l'autre base est un peu plus petit que le premier; afin que la fusée, qui doit être parfaitement semblable aux arbres des noyaux, puisse se retirer du sable, sans occasionner aucune dégradation. Les dimensions de la partie de l'arbre opposé au noyau sont déterminées par la hauteur du châssis, comme nous le verrons plus bas. La partie qui porte le noyau, jointe à celle qui forme l'œil du projectile, a pour longueur la distance de la circonférence supérieure de l'œil au culot, moins une petite quantité, selon le calibre: il est assez indifférent qu'elle soit un peu plus ou un peu moins grande. Ce qui importe seulement, c'est que le bourlet et la partie de l'arbre opposée au noyau, soient parfaitement égaux à leurs analogues dans la fusée du globe, et que la longueur de ce bourlet soit rigoureusement déterminée par les dimensions du châssis. Nous reviendrons sur cet objet.

Les arbres peuvent être pleins ou creux. Les arbres pleins, pourvus d'une ou de deux fortes rainures qui règnent dans toute leur longueur, se trouvent en outre percés à leur partie qui porte le noyau de deux trous rectangulaires dans lesquels on place des morceaux d'ardoises, pour don-

ner des points d'appui à la terre. Dans les rainures on place des brins de paille pour le libre dégagement des gaz. Les arbres creux, destinés principalement pour les noyaux en sable, sont percés de cinq à six trous de deux lignes de diamètre. Je pense que ces derniers méritent la péférence: ils sont d'ailleurs faciles à confectionner, plus légers, et moins sujets à se fausser que les arbres pleins. On les fait avec de la tôle de quinze à vingt points d'épaisseur, qu'on découpe d'après la longueur et le diamètre de l'arbre et qu'on roule ensuite à chaud sur un mandrin. Il n'est pas nécessaire que les bords soient brasés ensemble, on se contente de les rapprocher. Le bourlet se fait au moyen d'une virole qu'on roule et qu'on brase sur l'arbre. Il est essentiel que la virole ou toute la partie de l'arbre qui doit être semblable à la fusée du globe, soit tourné et mise exactement à ses dimensions.

L'une et l'autre espèce d'arbres doivent être aplaties à l'extrémité opposée au noyau, afin qu'elle puisse entrer dans une manivelle; on ménage en outre dans cette partie un trou qui reçoit une clavette, lorsque le noyau est placé dans le moule. L'autre extrémité doit présenter un petit enfoncement conique pour offrir un logement à la pointe de la vis qui sert à fixer l'arbre sur le tour.

Les dimensions des noyaux en terre sont déterminées au moyen de planches échantillonnées: il en faut au moins trois; parce que le noyau se fait en plusieurs reprises. Le rayon de la première planche diffère du rayon d'un noyau achevé de 10^l, la seconde de 4^l, la troisième doit présenter une section exacte du noyau y compris celui de l'œil. Il est très-facile d'en faire le tracé, puisque toutes ses dimensions sont données par celles que la bombe doit avoir. Un profil semblable, fait en fer, joint à la lunette et aux calibres pour l'œil servent à vérifier les dimensions des noyaux. Avant d'entrer dans le détail du moulage, nous donnerons la description des châssis.

DES CHASSIS.

Les châssis sont des caisses en bois ou mieux en fonte, sans fond, se divisant en deux parties inégales, qui renferment chacune le moule d'un hémisphère et qui s'assemblent d'une manière exacte et solide par des goujons de repaire, des coins à coulisse, des crochets ou par de petits boulons et clavettes : l'assemblage par vis me paraît très-défectueux.

L'épaisseur des planches qui forment les châssis en bois doit être de 15 à 18 lignes pour les bombes de 10 ou de 12 pouces et de 10 à 12 lignes pour les autres projectiles.

Les caisses ou châssis en bois sont ordinairement carrés, trois des 4 angles sont remplis en partie par des prismes triangulaires en bois, pour raison de solidité et pour que leur capacité soit d'autant diminuée. La grandeur du châssis doit être telle qu'il reste 1° à 18ˡ de vide autour du modèle. Si ce vide était plus grand, le moulage prendrait trop de temps, occasionnerait plus de dépenses et ne présenterait plus des résultats aussi satisfaisans; parce que le sable cède toujours plus ou moins à la dilatation de la fonte, qui s'étend davantage aux points dont la résistance est moindre, et cet effet sera d'autant plus grand que la couche de sable est plus épaisse, puisqu'une couche épaisse ne peut être damée d'une manière aussi uniforme ni aussi forte que les couches qui sont plus minces.

On appelle ordinairement *corps de châssis*, la caisse dans laquelle on fait le moule de l'hémisphère où se trouve l'œil du projectile; l'autre caisse porte très-improprement le nom de *fausse pièce*. Le premier, qui a 10°-8ˡ de hauteur, pour les bombes de 12°, et auquel sont adaptées les coulisses, porte une traverse en fonte, renflée dans le milieu et percée d'un trou d'outre en outre. La longueur de ce

trou, ou l'épaisseur de la barre est de 4 pouces; sa largeur est assez indifférente. Cette traverse s'appelle *barette*. Son trou qui a 9 lignes de diamètre reçoit la fusée du modèle dont le bourlet doit s'appliquer exactement contre cette pièce de fonte; ainsi que le bourlet de l'arbre du noyau. Il s'ensuit que l'exactitude du placement du noyau, d'où résulte l'exactitude dans l'épaisseur des parois du mobile, dépend de la précision avec laquelle la *barette* est confectionnée et mise en place, tout aussi bien que de la bonne exécution des arbres et de leur parfaite identité avec la fusée.

La barette est donc la pièce la plus importante. Si elle se trouvait courbée en-dessus ou en-dessous, l'épaisseur de la paroi à l'œil deviendrait trop faible ou trop forte. Si elle se trouvait dérangée dans un autre sens, l'emplacement de la lumière et sa direction éprouveraient des variations analogues. En faisant la vérification des châssis l'Officier doit donc porter son attention principalement sur l'emplacement, les dimensions et la solidité des barettes. Elles sont encastrées de toute leur épaisseur dans le bois ou la fonte, et retenues ensuite par des vis, des étriers et des clavettes.

La hauteur du corps de châssis est déterminée en général par le demi-diamètre du globe, plus la hauteur du bourlet et l'épaisseur de la barette. La somme de ces trois dimensions est de 10° — 8¹ pour la bombe de 12°. La hauteur de la fausse pièce est égale au demi-diamètre du globe, plus deux ou trois pouces pris pour l'épaisseur de l'enveloppe de sable. Cette hauteur est par conséquent de 8° à 9° pour l'exemple que nous avons choisi. Elle peut varier en sus sans inconvénient; il n'en est pas de même de la hauteur du corps de châssis, à moins que la fusée du globe et les arbres à noyaux ou l'épaisseur de la barette n'éprouvent des variations analogues.

Lorsque les dispositions sont prises de manière que l'œil du projectile soit en-dessous pendant le coulage, on est obligé de donner à la fausse pièce une hauteur un peu plus grande qu'elle n'aurait besoin de l'être, si le projectile était coulé l'œil en-dessus; parce que dans le premier cas, le sable de la fausse pièce est soutenu par la planche qui sert d'appui au châssis, ce qui n'a pas lieu dans le second cas.

Les châssis *en fonte* ont une forme arrondie avec un renflement ou une corne, qui offre un emplacement au jet. Les parois latérales peuvent être verticales ou présenter la forme de deux troncs de cônes adossés base à base, d'où il résulte un ventre vers le milieu. Leur assemblage a lieu au moyen de goujons et d'oreilles traversés par des boulons qu'on arrête avec des clavettes. Les barettes doivent être coulées séparément et percées à froid au foret, pour plus d'exactitude. En les coulant en même temps que les châssis on ne pourrait éviter de légères variations dans leur emplacement, dans la direction du trou et dans toutes leurs dimensions, ce qui serait très-nuisible à la précision qu'on doit exiger dans la fabrication.

Les châssis en fonte sont bien préférables aux châssis en bois, parce qu'on les assemble mieux, qu'ils sont beaucoup moins sujets à se déranger, qu'on peut y ajuster la barette avec plus de précision et de solidité. Nous avons déjà dit qu'il est avantageux que la chappe de sable ait peu d'épaisseur; mais dans ce cas le bois, tourmenté par la chaleur et les vapeurs aqueuses, se déjette, ce qui produit toujours des défauts dans les dimensions du mobile. Voilà ce qui prouve encore l'avantage qu'offrent les châssis en fonte.

Le canal dans lequel on verse le métal et qui le conduit au moule, a une forme coudée et aboutit à l'équateur du mobile. On l'appelle jet à talon et on le ménage dans le sable au moyen de deux pièces de bois, dont la première

placée verticalement a une forme conique : le diamètre de sa grande base est de 2° $\frac{1}{2}$, celui de la base inférieure a 9 lignes dans les bombes de 12°, et sa hauteur est naturellement égale à celle de la partie du châssis placé en-dessus. Le deuxième morceau qui forme le talon, posé horizontalement, se joint d'un côté au globe et de l'autre à la pièce verticale; ses deux extrémités sont par conséquent découpées, l'une d'après la surface du jet vertical, et l'autre d'après la courbure d'un grand cercle du projectile. Sa forme est aplatie. La première de ces pièces de bois se nomme simplement *jet*, la deuxième *talon*. En donnant la description du moulage, nous indiquerons les divers instrumens dont on fait usage; mais nous devons d'abord dire un mot du tour sur lequel on moule les noyaux en terre, et la première charge des noyaux en sable.

DU TOUR.

Le tour à noyaux se compose en général de 4 pieux enfoncés en terre et surmontés d'une espèce de cadre rectangulaire en bois; deux des poutrelles de ce cadre, celles dont la direction est perpendiculaire à l'arbre du noyau, s'appellent jumelles. Leur écartement varie selon le diamètre du noyau. L'une des jumelles, celle qui est à la droite de l'ouvrier, faisant face au tour, porte une crapaudine en cuivre dont le creux doit recevoir la fusée de l'arbre du noyau ou la partie qui commence à la petite base du bourlet. Celui-ci doit appuyer contre la crapaudine, lorsque l'arbre est sur le tour. L'autre jumelle est pourvue d'un carré en fer, traversé d'un trou taraudé dans lequel se meut une vis terminée en pointe et destinée à présenter un appui à l'extrémité de l'arbre muni, à cet effet, d'un petit trou conique. Une manivelle, ayant un trou rectangulaire, s'ajuste sur la partie supérieure de

l'arbre et sert à lui donner le mouvement. Un poids, suspendu à un crochet en fer, l'empêche de sortir de la crapaudine.

DE LA CONFECTION DES NOYAUX EN SABLE.

Les noyaux en sable se forment sur une poupée en terre. On commence par placer l'arbre sur le tour, en faisant avancer la vis jusqu'à ce que la petite base du bourlet touche contre la crapaudine, de sorte que le bourlet se trouve entre l'écartement des jumelles. Après avoir placé le double crochet qui porte un poids, l'ouvrier enroule une corde de foin sur l'arbre, en faisant trois ou quatre tours. Ce foin se trouve retenu par des chevilles de bois, qui sont brûlées pendant le séchage et la coulée. Il applique ensuite plusieurs couches de terre, jusqu'à ce que la poupée ait les dimensions de la planche échantillonnée.

Avant que la poupée ne soit entièrement sèche, on y fait plusieurs trous, afin que le sable puisse y adhérer plus facilement.

Le modèle du noyau est une boîte en cuivre jaune qui se divise en deux, par un plan passant par le centre et perpendiculaire à l'axe de l'œil. Sa forme et ses dimensions à l'intérieur sont celles que le noyau doit recevoir, sauf quelques points en plus pour le retrait, si le projectile est de gros calibre. Ce retrait ne peut s'élever à plus de 3 points pour les bombes de 12°: il est presque insensible pour les petits mobiles.

L'un des hémisphères de la boîte se termine par un plan coupant, et reste par conséquent ouvert, lorsque le projectile doit avoir un culot; dans le cas contraire, lorsque le projectile doit être concentrique, cet hémisphère est pourvu au pôle d'un trou par lequel on introduit le

sable et qui se ferme ensuite par une calotte. L'autre hémisphère, celui qui se remplit le premier, porte un trou égal au noyau de la lumière. Cet hémisphère est solidement fixé dans une pièce de bois encastrée elle-même dans une autre pièce supportée par trois pieds.

Les deux parties de la boîte se joignent à rainure et sont fixées l'une à l'autre par une lunette qui embrasse l'hémisphère supérieur et qui se trouve retenue à l'aide de deux crochets agissant aux extrémités d'un diamètre.

Lorsqu'on veut remplir l'hémisphère inférieur pour mouler le noyau, on place d'abord l'arbre pourvu de la poupée et du noyau de la lumière, qui doit être fait en terre avec beaucoup d'exactitude, calibré et *achevé à sec sur le tour*. Le bourlet de l'arbre doit appuyer sur une petite plaque de fer établie sur la pièce de support, de manière que la distance du bourlet au noyau soit constante et égale à la distance de la barette au moule du projectile augmentée de l'épaisseur des parois. Cette épaisseur, mesurée à l'œil de l'obus, ne peut alors éprouver aucune variation, si les barettes, les corps de châssis et les arbres sont parfaitement identiques, et que ces derniers soient en tout semblables à la fusée du globe. En damant le sable dans le premier hémisphère, l'ouvrier doit avoir soin de tirer un peu l'arbre et de s'assurer qu'il continue à s'appuyer sur la plaque de fer dont nous venons de parler; car le damage du sable au-dessous de la poupée tend à le faire remonter. Les battes dont on fait usage pour damer, sont courbes et confectionnées en fer ou en bois.

Quand la boîte est parfaitement remplie, on arase le sable avec une règle, on l'aplanit et on le comprime avec une truelle, si le projectile est à culot; dans le cas contraire, on remplit seulement l'intérieur de la boîte en damant assez fortement, on comble le trou avec du sable que l'on comprime ensuite, en y appliquant la calotte.

Pour retirer du moule le noyau, on enlève seulement l'hémisphère supérieur de la boîte, tandis que l'hémisphère inférieur reste fixé dans le bois.

On insère l'extrémité de l'arbre dans un trou ménagé dans le bois du trépied; le noyau, se trouvant alors parfaitement libre, peut être paré à la couture; c'est ainsi qu'on appelle le cercle de jonction, qui laisse toujours une espèce de bavure qu'on est obligé de faire disparaître.

Le noyau paré se plonge dans de l'eau argileuse rendue plus gluante par le crottin de cheval; on y délaye en outre de la poussière de charbon très-fine. Cette couche de charbon empêche le sable de se braser sur la fonte. Si le noir n'est pas très-gluant le charbon n'adhère pas assez au noyau, il se détache, surnage dans le bain, et produit des rides assez grosses autour de l'œil, ce qu'il faut éviter. Ce n'est qu'après cela qu'on le fait sécher. Il est nécessaire que la chaleur soit assez forte pour produire une dessication parfaite (voyez ce qui a été dit à la page 439); la moindre quantité d'eau que retiendrait le noyau, ferait manquer l'obus ou occasionnerait de grands défauts auprès de l'œil. Au reste on fait toujours bien de donner aux noyaux un recuit plutôt trop fort que trop faible; si quelquefois on a mal réussi, c'était presque toujours en négligeant cette précaution. Plus le sable est maigre plus il se dessèche facilement; mais on est forcé d'employer du sable un peu gras, afin que le noyau prenne la consistance voulue.

Le sel marin a la propriété de faire durcir très-fortement par un léger recuit le sable maigre. Si par conséquent on voulait l'humecter avec une dissolution de ce sel, on pourrait en employer de très-maigre, ce qui serait un grand avantage; mais si des noyaux faits de cette manière n'étaient pas employés tout de suite, ils ne pourraient plus servir; le sel étant très-hygrométrique absorberait en 24 heures assez d'eau pour faire manquer les projectiles

à la coulée. Ce moyen ne peut donc servir que dans des circonstances particulières. En général on ne peut se dispenser d'exposer les noyaux à une chaleur rouge, si l'on n'emploie point de sel : on les sèche sur le gueulard, sans aucune dépense. (Voyez, pour l'emploi du sel marin, le paragraphe 1042 et la note que nous y avons ajoutée.)

DE LA CONFECTION DES NOYAUX EN TERRE.

On fait la poupée, comme nous l'avons précédemment indiqué (page 451), ayant soin d'introduire un brin de paille dans la rainure de l'arbre, lorsqu'il est massif. On la sèche dans les embrasures du haut fourneau, en évitant de l'exposer d'abord à la chaleur rouge, pour ne pas brûler la paille. Après que la poupée est séchée, on la fixe mieux, on l'empêche de glisser vers le bourlet, au moyen d'un morceau d'ardoise qu'on introduit dans l'un des trous pratiqués dans l'arbre. Après avoir appliqué une nouvelle couche de terre sur la poupée, on insère un second morceau d'ardoise dans le trou qui se trouve à l'extrémité de l'arbre. On reporte ensuite le noyau au séchoir, on le remet sur le tour, et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'il ait reçu les dimensions voulues, calculées sur le vide intérieur du projectile et sur le retrait que prend la terre, par la torréfaction opérée à la chaleur rouge.

Le nombre des couches qu'on donne à chaque noyau, et par conséquent le nombre des fois qu'on le reporte au séchoir, varie selon le calibre. A Hayange on appliquait anciennement cinq couches successives sur les poupées pour bombes de 12 pouces, et deux seulement sur les poupées pour obus de 6 ou 8 pouces. Dans les Ardennes les noyaux pour bombes de 12 pouces même se faisaient en trois reprises seulement. Ces procédés doivent nécessairement différer selon la nature des terres, qui retien-

nent l'eau avec plus ou moins d'énergie, et selon le degré de chaleur qu'on peut employer pour la dessication.

Quoique la dernière couche soit donnée à tous les noyaux avec la même planche échantillonnée, découpée sur un cercle dont le diamètre est égal à celui du vide intérieur du mobile augmenté du retrait que la terre prend par la dernière dessication, et qu'on ne peut connaître que par l'expérience, il n'arrive pourtant jamais que les noyaux achevés aient les mêmes dimensions; non-seulement ils ont perdu leur sphéricité, mais aussi les uns sont devenus trop grands, les autres trop petits. On les soumet par conséquent à une dernière opération qu'on appelle le relavage; on les vérifie d'abord avec trois instrumens, la lunette, la demi-ronde, qui est un profil du noyau, et avec le calibre pour la lumière; on gratte ensuite avec un couteau les endroits où il y a excès de matière et l'on ajoute de la terre là où il y a dépression. Cette opération se fait à la main, et offre par conséquent peu de garantie pour l'exactitude qu'on tâche d'obtenir. Il est essentiel que la dernière couche de terre donnée sur le tour soit très-mince, afin que les défauts de rondeur, qui sont une suite inévitable du grand retrait que subit la terre glaise par la cuisson, se manifestent plutôt sur l'avant-dernière couche, qui doit avoir une épaisseur telle que le noyau humide soit au moins égal au noyau achevé et recuit.

Au lieu de faire le relavage à la main, on pourrait le pratiquer sur le tour, en remplaçant la planche échantillonnée par un morceau de fer ou d'acier trempé, et en rodant le noyau avec une pâte liquide d'argile mêlée avec du sable. Quant au noyau de la lumière, on doit le tourner à sec et le mettre, au moyen d'un ciseau, à ses justes dimensions; ceci s'applique tout aussi bien aux noyaux en sable qu'à ceux qui se font en terre glaise. Lorsque le noyau est relavé, on le noircit et on le sèche de nouveau.

Si l'officier, les commis ou les contrôleurs qui vérifient les noyaux avec les lunettes destinées *ad hoc*, en trouvent qui sont trop petits, ils doivent les briser sur-le-champ; parce que ces noyaux calcinés et noircis, ne peuvent plus être mis à de plus grandes dimensions. Les ouvriers qui souvent calculent très-mal leur propre intérêt et qui d'ailleurs n'ont aucun égard à celui des autres, les emploieraient furtivement sans y toucher, dans l'espoir mal fondé sans doute, que le défaut du projectile qui aurait les parois trop épaisses, passerait inaperçu dans les réceptions. Il n'en est pas de même des noyaux trop gros, on peut les corriger, les gratter et les noircir ensuite une seconde fois. En général on noircit toujours les noyaux après qu'ils sont relavés et on les fait sécher de nouveau.

Le simple exposé de ces différens procédés montre les vices inhérens aux noyaux confectionnés en terre. Quelque soin qu'on prenne, on ne parvient jamais, dans une grande fabrication, à les avoir parfaitement identiques. Il vaut donc infiniment mieux les faire en sable.

DE LA CONFECTION DES MOULES.

Pour confectionner le moule, l'ouvrier pose le demi-globe supérieur sur une planche pourvue de deux liteaux qui permettent de la saisir plus facilement en-dessous. Il introduit ensuite la fusée dans le trou de la barette et place le corps de châssis sur la planche à mouler. En le faisant tourner, il s'assure que le châssis rase cette planche et qu'il appuie sur le bourlet de la fusée, ce qui est essentiel. Si le châssis ne touchait pas la planche, le projectile serait aplati ou ce qui revient au même, le diamètre joignant les pôles deviendrait trop petit. Si au contraire il reposait uniquement sur la planche et que la barette ne touchât pas le bourlet de la fusée, la paroi du projectile serait

trop mince à la lumière : défauts qui malheureusement ne se rencontrent que trop fréquemment; parce que les châssis se dérangent et manquent alors du degré de précision voulu.

Après que le châssis est placé, on pose le jet, si toutefois le projectile doit être coulé, de manière que l'œil soit en-dessous; si le contraire avait lieu, le jet vertical serait dans le sable de la fausse pièce. L'ouvrier soutient d'une main la patte qu'il fait appuyer d'un côté au globe et de l'autre au jet conique et vertical, autour duquel il presse tout de suite un peu de sable. A mesure que son aide remplit le châssis, le mouleur serre le sable, soit avec les mains dans les angles, soit au milieu par une batte en bois. Si c'est le moule d'une bombe qu'il forme, il place les mentonnets lorsque le sable est arrivé à une hauteur convenable; il le comprime sur les mentonnets avec le pouce et il soutient les anneaux jusqu'à ce qu'ils soient fixés. Dès que le châssis est rempli en entier et que le sable a été bien damé avec la batte, l'ouvrier en enlève l'excédant avec une règle, forme un entonnoir autour du jet et perce avec une aiguille le sable sur plusieurs points, pour y pratiquer des évents, surtout au-dessus des mentonnets. Il retourne ensuite le châssis sur une autre planche pourvue aussi de liteaux et appelée *faux fond;* retire la planche à mouler; place le deuxième hémisphère du modèle dans son emboîtement; pose la deuxième partie du châssis sur la première, en faisant entrer les goujons de repaire dans leurs trous correspondans; saupoudre de poussière de charbon le modèle et le sable, pour empêcher que le nouveau sable n'adhère au premier, et remplit le châssis comme il l'avait fait auparavant, ayant soin de comprimer le sable un peu plus fortement si le projectile doit être coulé la lumière en-dessus.

Pour démouler, l'ouvrier passe une petite barre de fer

dans la mortaise du faux arbre, glisse sous cette barre un morceau de bois, une batte, par exemple, qui, s'appuyant sur les côtés du châssis, fait fonction de coin sous la barre, de manière que le demi-globe, serré contre le sable, ne puisse se déranger, lorsqu'on enlève le châssis. Plaçant ensuite ce châssis sur le côté, il donne quelques coups de batte sur le modèle et le fait sortir, après avoir retiré la barre de fer qui le fixait. Il met le moule sur une planche bien horizontale, bouche le trou laissé par le faux arbre, répare le moule avec *le champignon* et *la feuille de sauge;* ce sont deux petits instrumens en fer, qui ne servent que pour cet objet et dont le nom indique assez la forme.

Le mouleur emploie le même moyen pour faire sortir le premier hémisphère: il retire les mentonnets, pose le moule sur un trépied sans fond, place le noyau, en mesurant avec un T la distance qu'il doit avoir à l'équateur, et l'assujettit d'une manière invariable, soit en passant une clavette dans la mortaise de l'arbre, soit en chassant quelques clous entre la tige de l'arbre et les parois du trou de la barette.

Cela fait, il assemble de nouveau les châssis, les serre fortement, soit avec des clavettes passées dans des boulons, si les châssis sont en fonte, soit avec de petits crochets adaptés aux châssis en bois.

On conçoit que si les deux châssis n'étaient pas assez serrés l'un contre l'autre, le mobile aurait une couture très-large, ce qui serait désavantageux, et il pourrait en outre devenir trop grand dans le sens des pôles. Cette dernière cause, jointe à la compression qu'éprouve le sable par la dilatation et par le poids de la fonte, produit souvent des projectiles alongés. Ils deviendraient au contraire aplatis, si, pendant le moulage, le corps du châssis n'appuyait que sur le bourlet et laissait entre lui

et la planche à mouler un certain espace. L'aplatissement peut provenir aussi d'une trop grande quantité de sable employée pour boucher le trou du faux arbre; c'est pour cette raison, qu'il convient de supprimer le faux arbre du globe pour les calibres de 6 et 8 pouces, dont les châssis remplis de terre, sont encore maniables. Pour démouler, on est alors obligé de renverser les deux châssis assemblés, de chasser un clou entre la barette et la fusée, et d'enlever d'abord le globe de la lumière.

DU COULAGE ET DE L'ACHÈVEMENT DES PROJECTILES CREUX.

La fonte doit former un jet continu qui soit faible au commencement, afin qu'il n'en résulte point de dégradations. Si le projectile est si grand que le moule ne puisse être rempli par une seule cuiller appelée poche, elles doivent se succéder sans interruption, et la fonte de l'une doit se verser dans l'autre, au lieu d'être introduite immédiatement dans le moule. Le fond de la poche est en fer battu que le mouleur recouvre d'argile, et c'est aussi avec la terre qu'il exhausse le bord. Il la refait à chaque coulée et la dessèche sur le laitier chaud.

Un aide tenant d'une main un morceau de bois et de l'autre une épinglette, nettoie la surface du bain et empêche que le laitier ne s'écoule avec la fonte. Il est nécessaire que les gaz qui se développent dans le noyau trouvent une libre issue; s'ils tardent de se montrer, soit par les évents, soit principalement à la lumière où ils doivent brûler avec une flamme bleuâtre, l'aide enfonce son épinglette dans la rainure, y présente ensuite du bois enflammé, pour les allumer et faciliter leur dégagement. Si le noyau a été mal séché ou si le sable du moule est trop humide, ces gaz se forment en si grande quantité de prime-abord, que ne pouvant se dégager en entier, ils

empêchent le métal d'entrer dans le moule; on voit alors la fonte remonter dans le jet, et le projectile est manqué. Cet accident peut arriver aussi, lorsque le mouleur verse la fonte avec trop de précipitation au commencement. Sans remonter précisément, elle éprouve quelquefois par les mêmes causes un mouvement dans l'intérieur du moule; dans ce cas il se forme sur les projectiles de petites pellicules qui ont peu d'adhérence avec la masse du métal et qu'on détache facilement à coups de marteau, surtout autour de l'œil et des mentonnets, ce qui les dépare et peut devenir un sujet de rebut.

Un quart d'heure après la coulée, lorsque la matière bien consolidée est encore très-chaude, on enlève le châssis supérieur, on détache le jet par un coup de marteau, on introduit l'arbre du noyau dans un tourne-à-gauche et on le retire. Pour retirer les arbres des noyaux en sable, on est obligé de faire un effort plus grand que celui qui est nécessaire pour les arbres des noyaux en terre, parce que le foin qui les enveloppe est plus brûlé dans ces derniers, qui sont exposés pendant la dessication à une plus haute température.

On fait disparaître ensuite, au moyen d'une râpe, la bavure qui se forme autour de l'œil. Cette opération demande des soins particuliers pour que l'œil n'en soit pas ébréché, ce qui aurait presque toujours lieu si l'on râpait à une trop basse température, ou bien si cette bavure était trop épaisse; elle le devient lorsque le bourlet de l'arbre ne remplit pas exactement le vide formé par le bourlet de la fusée, dont la grande base est un peu plus petite que l'ouverture de l'œil. Au moyen d'une fraise à six pans on donne à celui-ci les dimensions voulues; on les vérifie par des rondelles. Les lumières qui, par un défaut d'attention de l'ouvrier ne deviennent pas assez larges, sont alézées plus tard à froid. Un tampon en forme de cône tronqué très-

évasé sert à abattre l'arête vive de la lumière. On fait bien de transporter ensuite les projectiles hors de l'atelier, pendant qu'ils sont encore chauds, pour les arroser d'eau, et pour faciliter le dépouillement du sable. Mais cet arrosage augmente le retrait d'une manière sensible. Il faut donc y avoir égard, lorsqu'on détermine les dimensions du globe.

Quand le projectile est refroidi, on le livre à l'ébarbeur qui le porte sur un chantier composé de deux arbres non jointifs entre lesquels il l'assujettit au moyen de coins. Il brise le noyau avec le croissant et une espèce de ciseau, renverse le projectile à plusieurs reprises pour le vider complètement, et enlève le sable qui adhère encore à la surface au moyen du marteau et d'une râpe. Ce sable s'y trouve brasé d'autant plus fortement qu'il est plus gras; on est souvent obligé d'entamer le métal pour l'enlever en entier, ce qui favorise l'oxidation, et nuit à l'aspect aussi bien qu'à la qualité du projectile. Nous avons indiqué le moyen de prévenir ce défaut, en prescrivant de mêler le sable avec de la poussière de houille, de coke ou de charbon et en arrosant les projectiles immédiatement après la coulée. On fait disparaître au moyen du ciseau la couture et toutes les aspérités, s'il en existe.

Les projectiles trop longs et ceux qui présentent des renflemens devraient toujours être rebutés, à moins qu'on ne pût les faire roder sur la meule. On permet quelquefois de retailler au ciseau un certain nombre de ces mobiles défectueux, ce qui donne des résultats détestables surtout lorsqu'il faut enlever du métal sur une grande surface. Les projectiles rodés avec soin offrent un très-bel aspect; mais ils ont, comme ceux qui sont retaillés au ciseau, le grave inconvénient de se rouiller très-promptement.

DE LA FABRICATION DES PROJECTILES PLEINS.

Les boulets se coulaient anciennement dans des moules de fonte appelés coquilles, et ils étaient ensuite portés à la rebatterie. On a commencé depuis une dixaine d'années à les couler en sable. C'est une amélioration essentielle qui cependant n'est pas encore définitivement adoptée.

Les coquilles se composent de deux parties égales, qui se joignent ensemble par une emboîture. Chaque demi-coquille est pourvue de deux anses. La cavité intérieure sert de moule au boulet. Le jet, qui est très-évasé à l'entrée où il forme un entonnoir, est pratiqué au point le plus élevé. Le plan de jonction ou pour mieux dire l'emboîtement, est vertical à Hayange, et horizontal dans quelques autres usines, comme par exemple dans celles de Niederbrunn.

Les modèles des coquilles sont en cuivre et enchâssés dans une enveloppe de bois de manière à ne pouvoir se déranger. La surface intérieure du cuivre sert à former un noyau en sable qui produit le vide *de la demi-coquille.* Il est indifférent que la surface extérieure de la coquille soit raboteuse et inégale, c'est pour cette raison qu'on les coule à découvert; c'est-à-dire qu'il suffit d'imprimer le modèle dans le sable, en comprimant fortement l'intérieur, et de retirer ensuite ce modèle sans couvrir le vide formé, qu'on remplit ensuite de fonte. C'est de cette manière qu'on coule en général de gros objets dont il importe seulement d'avoir l'une des faces polie et exacte, celle qui est tournée en-dessous. On voit d'après cela que *l'emboîture* est horizontale quand on coule la coquille.

L'intérieur des moules de coquilles n'est pas sphérique. Le rayon vertical est plus petit que le demi-diamètre horizontal qui est celui de l'emboîture. Voici quelles sont les

différences admises: $3\frac{1}{2}$, 3, $2\frac{2}{3}$, $2\frac{1}{3}$, 2, $1\frac{2}{3}$ points pour les calibres de 24, 16, 12, 8, 6, 4. Ces données ont été fournies par l'expérience.

Les demi-coquilles *assemblées* produisent donc des sphéroïdes aplatis dans le sens horizontal perpendiculaire au plan de jonction. Les boulets qu'on obtient sont par conséquent un peu renflés à la *couture* ou bavure, produite au cercle d'assemblage, et il est nécessaire qu'ils le soient; parce que la couture reçoit un grand nombre de coups de marteau au rebattage, ce qui tend par conséquent à diminuer ce grand cercle et à augmenter ceux qui lui sont perpendiculaires. Dans beaucoup d'usines, on a d'ailleurs l'usage d'enlever la bavure avec la râpe, lorsque les boulets sont chauffés pour être soumis au rebattage; cette opération, qui est très-mauvaise, comme nous le verrons plus tard, exige aussi que les projectiles soient renflés vers la couture, en sortant des coquilles.

Lorsqu'on veut couler les boulets, on réunit les demi-coquilles après les avoir lavées avec de l'eau bourbeuse. On les place sur une pièce de fonte pourvue à ses deux extrémités de deux bras, qui servent à les contenir et au moyen desquels on peut les caler avec des coins. Il est bien entendu que le jet doit être vertical et les poignées tournées en-dehors. Un semblable assemblage, se composant ordinairement d'une vingtaine de coquilles, s'appelle *carnet*.

On puise la fonte dans le creuset du haut fourneau avec des poches et l'on verse la matière uniformément, sans secousses, ayant soin d'écrêmer continuellement.

Nous parlerons du rebattage, après avoir traité de la fabrication des boulets coulés en sable.

DES BOULETS COULÉS EN SABLE.

Les moules des boulets se confectionnent en sable d'une manière analogue à ceux des obus. Lorsque ce genre de fabrication a été ordonné, par S. E. le Ministre, pour la première fois dans l'arrondissement de la Moselle, en 1824, on prescrivit de lisser les boulets dans un cylindre de fer, avant de les rebattre. Nous avions déjà confectionné, en 1821, d'après ce procédé, une cinquantaine de boulets que nous présentâmes à M. le Lieutenant-général Tyrlet qui, les trouvant fort beaux, en emporta plusieurs pour les montrer au Comité.

Nos expériences ont été variées de diverses manières : nous employâmes et de la fonte de fer tendre qui sert ordinairement à la fabrication des projectiles, et de la fonte de fer fort avec laquelle on coulait alors des flasques; les boulets ont été ou simplement lissés, ou seulement rebattus, ou bien lissés d'abord et rebattus ensuite. Voici en résumé les conclusions que nous avons dû tirer de ces expériences :

1° Les boulets lissés d'abord et rebattus ensuite sont bien supérieurs à ceux qui n'ont subi que l'une ou l'autre de ces deux opérations;

2° Le rebattage ne peut être remplacé avantageusement par le lissage; si l'on ne veut adopter à la fois l'un et l'autre, il vaut infiniment mieux s'en tenir au premier;

3° La fonte de fer fort donne des boulets qui ont des surfaces plus unies que celles des boulets coulés avec de la fonte de fer tendre;

4° Les petites soufflures qui se manifestent souvent au pôle supérieur du boulet, paraissent aussi fréquentes dans ceux qui sont en fonte de fer fort que dans ceux qui sont coulés avec de la fonte de fer tendre.

Nous ferons observer que les petites soufflures dont il s'agit et dont nous avons déjà parlé, ne se rencontrent pas dans toutes les fontes. Il y a beaucoup d'usines où ce défaut est à peine connu; les boulets en fonte blanche en sont toujours exempts; mais ils en ont d'autres plus graves encore. On reviendra sur ces divers objets, lorsqu'on parlera du lissage, du rebattage et des réceptions.

DES GLOBES POUR BOULETS.

Les globes des boulets ressemblent à ceux des projectiles creux; mais ils n'ont qu'un seul arbre, c'est celui qui, pourvu en haut d'une mortaise dans laquelle on introduit une réglette, ne sert que pour le démoulage.

Si les boulets doivent être lissés simplement ou rebattus après le lissage, il faut que les globes soient sphériques, excepté celui de 24, à cause du poids de ce mobile, qui peut comprimer et faire céder le sable, à moins qu'il ne soit très-fortement damé.

Quant aux globes des boulets qu'on veut rebattre, sans d'abord les lisser, il est nécessaire de les faire renfler un peu vers le plan de jonction. Pour cet effet, on les aplatit dans le sens opposé: si le calibre est fort, il faut que cet aplatissement commence à une assez grande distance des pôles. Ainsi, le diamètre perpendiculaire à la couture doit être plus petit que le diamètre de cette dernière, lorsque le boulet n'est pas encore rebattu: les raisons qui motivent cette forme ont déjà été données, au sujet des boulets coulés en coquille.

Nous avons souvent remarqué que tous les projectiles éprouvent le long de la couture, en-dessus et au-dessous, une légère dépression. Ce fait se lie probablement à celui de la contraction d'une veine fluide qui s'échappe par un orifice. Il s'ensuivrait que tous les globes devraient

être un peu renflés au plan de jonction; mais il n'en est pas ainsi, parce que l'ouvrier, frappant légèrement contre les demi-globes pour les faire sortir du sable, ne peut manquer d'élargir le moule du côté de l'équateur : la petite augmentation de diamètre qui en résulte, compense la dépression dont il s'agit. Il ne reste donc, pour la forme qu'on doit donner aux modèles, dans les cas divers, que les raisons précédemment exposées.

En tournant les modèles, on les rend d'abord sphériques; s'il est nécessaire, on les aplatit ensuite, d'après un tracé particulier, sur lequel on découpe une feuille de tôle qui sert de calibre. On doit avoir la précaution de faire ces globes plutôt trop grands que trop petits, ainsi que nous l'avons déjà fait observer, parce qu'on les diminue facilement, tandis qu'on ne pourrait les augmenter. Au reste, avec le même globe et la même fonte, on peut obtenir des boulets un peu plus ou un peu moins gros, selon la manière dont le sable a été damé.

La patte du jet doit être mince et large; les angles à l'extrémité qui touche le globe, doivent être un peu rabattus, afin qu'il puisse se détacher plus facilement.

DU MOULAGE ET DE LA COULÉE DES BOULETS.

On peut couler plusieurs boulets à la fois dans un seul châssis, en disposant les moules sur deux rangs entre lesquels on place *un jet maître*, qui règne dans toute la longueur et d'où la fonte s'écoule dans chacun des vides sphériques par de petits canaux particuliers qui aboutissent au premier. Pour cet effet on pose d'abord sur une planche à mouler les demi-globes sans fusées et les jets, d'après la disposition respective qu'on veut leur donner. Le mouleur fait remplir le châssis en comprimant le sable au fur et à mesure, l'arase, évase le jet, pratique cinq

ou six évents avec une épinglette de deux lignes d'épaisseur, et le retourne sur un faux fond. Il place ensuite sur les premiers demi-globes et dans leurs emboîtures respectives, les demi-globes pourvus d'une fusée, saupoudre avec de la poussière de charbon, le métal et le sable pour empêcher l'adhérence, pose la seconde partie du châssis ayant soin de serrer les crochets ou les boulons, et le remplit, en y comprimant le sable plus fortement que dans le premier, surtout si les projectiles sont d'un fort calibre.

Pour démouler, l'ouvrier introduit des réglettes dans les mortaises des fusées, enlève le châssis qu'il a rempli le dernier, le place sur le côté, opère, comme il a été dit pour les obus, assemble les deux châssis de nouveau, en faisant serrer les crochets et les boulons à clavettes qui fixent les deux parties du châssis l'une à l'autre : le moule étant achevé et disposé ainsi, il procède à la coulée.

La fonte doit être versée d'autant plus lentement qu'elle est plus liquide. La grosseur même des jets devrait varier avec le degré de liquidité du métal, ce qui toutefois est inexécutable dans la pratique.

Lorsque le fer cru commence à se figer, il faut retourner le châssis sens dessus dessous. On a remarqué que lorsque les châssis n'ont pas été renversés, il se forme au pôle supérieur une soufflure ou du moins une légère dépression : on l'évite en les renversant. La bulle de gaz qui en est la cause, refoulée alors vers le centre de figure, ne produit plus un si grand dérangement dans le centre de gravité, et le boulet devient plus rond. Il est très-important qu'en retournant le moule on saisisse le moment convenable qui varie d'un jour à l'autre, si la fonte éprouve des variations.

C'est particulièrement ce défaut qu'on a reconnu aux boulets coulés en sable, et qu'on ne remarque guère dans les boulets coulés en coquilles, qui a fait balancer long-

temps entre les deux procédés. Enfin on a été décidé en faveur des premiers, par une plus grande précision qu'on peut obtenir dans leurs dimensions et leur sphéricité, ainsi que par le poli de leur surface.

Nous pensons que si les boulets en coquilles très-imparfaits d'ailleurs, n'ont pas le défaut qu'on vient de signaler, on doit l'attribuer principalement à l'emplacement du jet qui est droit et aboutit au point le plus élevé du moule. Il ne pourrait en être ainsi avec les boulets coulés en sable; le jet doit nécessairement aboutir au plan de jonction, afin que la fonte puisse couler le long des parois intérieures, sans tomber brusquement sur le fond du moule, qui ne manquerait pas d'en être endommagé. Mais la cause du défaut étant connue, on voit tout de suite le moyen d'y remédier radicalement, au lieu de le faire disparaître aux dépens de la densité du mobile : il suffira en effet qu'on pratique au pôle supérieur du moule un évent très-fort, semblable à un jet; qu'on place le moule bien horizontalement; qu'on augmente un peu s'il est nécessaire la hauteur du châssis supérieur, afin que le métal liquide soit soumis à une plus forte pression, et qu'on verse la fonte vers la fin avec beaucoup de lenteur.

Lorsque les boulets sont refroidis, on les ébarbe. Cette opération se fait souvent à coups de marteau et d'une manière fort grossière, lorsque les projectiles ont été coulés en coquilles; on tâche d'y remédier ensuite à la rebatterie en les râpant à chaud, ce qui est très-défectueux. Il importe que l'ébarbage se fasse avec soin et qu'il s'effectue au ciseau, surtout si les boulets doivent être lissés seulement.

DU LISSAGE.

On lisse les boulets dans un tonneau en fonte fermé aux deux fonds, pourvu d'une porte elliptique et traversé d'un axe en fer qui communique avec l'arbre d'une roue dont il reçoit le mouvement.

Les dimensions d'un pareil tonneau sont assez arbitraires : 3 pieds de longueur, 22 à 24 pouces de diamètre, suffisent pour qu'on puisse y lisser autant de boulets qu'on peut en rebattre sous un marteau. Il est essentiel qu'il soit très-solide, on doit le cercler en fer et donner au métal 18 à 20 lignes d'épaisseur.

On le remplit à moitié. S'il était moins plein, les boulets se lisseraient moins vite, et on le conçoit assez facilement, par le poids qu'ils excercent les uns sur les autres. Ce tonneau doit faire à peu près 20 à 30 tours par minute. Si sa vitesse était trop grande, la force centrifuge que les boulets pourraient acquérir s'opposerait à leur déplacement respectif, en les fixant contre les parois du vaisseau. Si la rotation était trop lente, ou si le tonneau était trop plein, le choc des boulets entre eux ne serait plus assez fort. Lorsque les boulets ne sont pas en fonte blanche qui, à cause de sa dureté, se rode difficilement, on peut renouveler le chargement toutes les deux ou trois heures.

Le lissage polit très-bien la surface du boulet et met à nu les petites soufflures; mais il ne peut remédier à des défauts de sphéricité, ni même faire disparaître la dernière trace de la couture et du jet. Nous sommes éloignés de penser qu'il puisse être substitué au rebattage qui doit nécessairement le suivre. Les boulets lissés d'abord, peuvent se rebattre plus vite, à un moindre degré de chaleur et prennent une surface beaucoup plus belle. Il s'ensuit

que le peu de frais qu'il occasionne se trouve compensé à la rebatterie, par l'économie en combustible et main-d'œuvre. D'un avantage incontestable pour l'artillerie, son adoption n'occasionnera pas un surcroît de dépense aux maîtres de forges.

Dans le cas même que les boulets seraient parfaitement sphériques en sortant du tonneau à lisser, il conviendrait cependant de les faire rebattre; parce que le marteau les soumet à une certaine épreuve, bien incomplète à la vérité, et que les boulets lissés sont sujets à s'oxider très-rapidement, tandis que les boulets rebattus se trouvent enveloppés de la légère couche d'oxide qui, en général, couvre le fer et le préserve des progrès de l'oxidation.

DU REBATTAGE.

Le rebattage a pour but de rendre la forme du boulet plus sphérique et sa surface plus unie, en faisant disparaître toutes les petites inégalités, la marque du jet et celle de la couture. Il s'effectue à chaud, sous un martinet qui pèse 60 à 70 kilog. et dont la panne forme une calotte sphérique de 8 à 9 lignes de flèche.

Les boulets se chauffent dans un four à réverbère d'une construction particulière. La sole qui est inclinée, a de 15 à 18 pieds de longueur, et 18 pouces de largeur. La hauteur de la voûte sous clef est de 14 pouces. Les boulets, introduits par l'une des extrémités du four, descendent par leur poids, en vertu de l'inclinaison de la sole, et arrivent d'eux-mêmes dans l'endroit où la chaleur est le plus intense. Parvenus au degré de température voulue, ils sont retirés par les ouvriers, tandis que d'autres boulets viennent prendre leur place. Par cette disposition, on facilite le travail et on laisse les projectiles le moins de temps possible exposés à la plus forte

chaleur, ce qui prévient une trop grande oxidation. Les couches d'oxide tombent sous le marteau et laissent sur le boulet des empreintes d'autant plus profondes, qu'elles ont été plus épaisses.

Le chauffage se fait à Hayange avec du bois blanc: ailleurs on a employé avec succès la houille. Le degré de chaleur doit dépendre et de la nature de la fonte et de la forme plus ou moins défectueuse du boulet. S'il est bien sphérique, surtout s'il a été lissé d'abord, et si la fonte est bonne, grise claire, on peut le chauffer à une bien faible chaleur, au rouge brun seulement; le projectile n'en sera que plus beau. En général la fonte, comme le fer, travaillée sous le marteau ou le laminoir, à une température basse, prend un aspect bien plus beau qu'il ne le serait, si la température avait été plus élevée. Mais si le boulet manque de sphéricité ou qu'il soit en fonte blanche, on est bien obligé de le chauffer fortement et de subir les inconvéniens qui en résultent. Un grand nombre de ces boulets se brisent alors sous le marteau et les autres sont toujours défectueux. Voilà ce qui ne manque jamais d'arriver, lorsqu'ils sont coulés en fonte blanche.

Le plus souvent on ne les chauffe à Hayange qu'à la couleur rouge cerise. Un ouvrier amène le projectile avec un crochet à la gueule du four, un autre le saisit avec une tenaille et le porte d'abord, selon l'ancienne méthode, devant le râpeur qui fait disparaître la couture et le jet avec une râpe. Cette opération est défectueuse, parce que le râpeur enlève souvent trop de métal, d'un côté, qu'il rend les boulets quelquefois trop petits, et toujours plus ou moins difformes: elle ne se pratique pas pour les boulets coulés en sable et pourrait fort bien être supprimée aussi pour ceux qui sont coulés en coquille, bien que leur couture soit plus épaisse que celle des autres. L'ouvrier qui a porté le boulet au râpeur, le

reprend pour le poser sous le marteau devant le platineur, qui le retourne avec les pinces, de manière qu'il soit rebattu dans tous les sens, mais principalement sur la couture et le jet. Il doit recevoir 120 à 150 coups pour être de recette.

Si le projectile n'a pas été lissé, on est obligé de prolonger le rebattage sur la bavure pour l'aplatir en entier : la fonte, cédant alors à la compression, produit un léger alongement vers les pôles. Cet effet est insensible pour les boulets lissés préalablement ; parce qu'après le lissage il ne peut rester de la couture qu'une légère trace qui disparaît aux premiers coups de marteau, et qu'on ne doit d'ailleurs les chauffer et les rebattre qu'à un faible degré de chaleur.

Un filet d'eau tombe continuellement sur le boulet ; ce liquide s'insinuant entre la fonte et la couche d'oxide, se vaporise, fait tomber les écailles et augmente le poli de la surface du boulet. Quand le boulet est suffisamment rebattu, l'ouvrier qui l'a porté le pousse en bas avec un autre, de sorte que le marteau marche continuellement.

Malgré l'attention et l'adresse de ces ouvriers, il est impossible que de temps à autre le marteau qui fournit 200 coups par minute, ne frappe à faux, lorsqu'on change de boulet ; on ferait donc mieux de l'arrêter, soit en le soutenant avec un étançon, soit en soulevant la palle, c'est-à-dire en fermant le pertuis de l'écluse. Ces faux coups font des marques très-profondes, parce que le marteau ainsi que l'enclume sont creusés en calottes et qu'ils présentent par conséquent des arêtes très-vives. C'est pour cette raison que le marteau fait même de petites marques beaucoup moins sensibles que celles dont il s'agit, lorsqu'il est seulement mal emmanché, ou bien lorsque, par l'effet de la percussion, il a éprouvé un dérangement.

Quand on veut passer d'un calibre à un autre qui soit

un peu plus grand, celui qui le suit immédiatement, on n'a pas besoin de changer la coquille de la panne sphérique ni celle de l'enclume; il suffit de les chauffer un peu en place, et de faire agir le marteau sur un boulet froid et rebattu du calibre de ceux qu'on veut rebattre.

Si le boulet n'est pas sphérique en sortant du moule, il peut le devenir parfaitement par le rebattage, si toutefois les inégalités ne sont pas trop prononcées et que la fonte soit grise. Un léger alongement disparaît alors en entier. Un aplatissement aux pôles se corrige plus difficilement.

COMPARAISON ENTRE LES BOULETS COULÉS EN COQUILLES ET CEUX QUI LE SONT EN SABLE.

Les boulets coulés en coquilles sont en général moins ronds que ceux qui sont coulés en sable; ils ont en outre le défaut de présenter une couche de fonte blanche sur une épaisseur de deux à trois lignes, lors même qu'ils ont été coulés avec la meilleure fonte, celle qui est grise claire. Cette couche de fonte blanche provient du refroidissement subit que la matière éprouve quand on la verse dans ces moules métalliques, qui de tous sont indubitablement les meilleurs conducteurs du calorique. Par la réunion de ces deux circonstances on est obligé de chauffer ces boulets fortement; car la fonte blanche est difficile à rebattre. Leur surface se trouve alors très-gravée, et cependant on ne parvient pas toujours à les rendre sphériques. Or il existe beaucoup de fontes de fer tendre qui ne supportent pas un haut degré de température. Chauffés au rouge rose, des boulets coulés avec une fonte de cette espèce, commencent déjà à se briser sous le marteau: la fonte blanche surtout se casse alors très-facilement, et pourtant, c'est elle qui a besoin de ce degré de chaleur pour que toutes les aspérités puissent s'abattre. Quant aux dépressions et aux renflures,

en un mot aux défauts de sphéricité, ils se montreront encore après le rebattage, si la fonte est blanche, et les boulets seront en outre trop petits.

Quelque soin qu'on prenne en écrêmant la fonte lorsqu'on la verse dans le moule, il y entre toujours une certaine quantité de crasse, elle s'oxide d'ailleurs en se mouvant dans l'air. Cette crasse et cet oxide, pénétrés d'un haut degré de chaleur, peuvent entrer en combinaison avec le sable du moule, qui les absorbe. Dans les coquilles, au contraire, ils nagent sur la fonte et se rassemblent au pôle supérieur du boulet autour du jet : une partie de ces impuretés tombe au rebattage et laisse leurs empreintes sur le métal; l'autre partie s'incruste encore plus fortement dans le boulet dont la surface devient alors raboteuse, inégale et gravée, ou d'après l'expression des ouvriers galeuse. Ces défectuosités se trouvent augmentées, si l'on emploie une fonte impure, chargée de silicium, comme les fontes obtenues avec du coke de qualité médiocre : on la reconnaît à son peu de liquidité. En résumé on voit que les boulets coulés en coquilles pèchent :

1° Par un manque d'uniformité dans le calibre, ce qui s'oppose à la précision qu'on doit chercher à obtenir ;

2° Par un défaut de sphéricité;

3° Par une surface raboteuse et gravée, principalement au pôle supérieur.

Voilà ce qui les rend d'une qualité bien inférieure à celle des boulets coulés en sable : il y aurait d'ailleurs peu d'avantage à lisser ceux qui sont coulés en coquille, parce que leur surface est trop dure.

Les défauts que nous venons de signaler ne se rencontrent pas au même degré dans toutes les usines, bien qu'ils soient inhérens à ce mode de fabrication. D'un autre côté les boulets coulés en coquilles ont une plus grande pesanteur spécifique que les boulets coulés en sable. Ce

fait si singulier au premier abord s'explique facilement : nous avons déjà dit qu'en damant le sable fortement, on peut obtenir avec le même globe des boulets plus petits qu'ils ne le seraient si le sable était peu comprimé, à cause de la résistance qu'il oppose à la dilatation de la fonte; mais cette résistance est bien autrement forte dans les coquilles serrées l'une contre l'autre par des coins implantés entre les coquilles extrêmes et les bras du carnet. Une autre cause de leur plus grande pesanteur spécifique, tient précisément à leur principal défaut, à la couche de fonte blanche qui les enveloppe et qui s'oppose le plus à l'effet du rebattage (voyez la note que nous avons ajoutée au paragraphe 1016). Toutefois il existe des fontes qui ne blanchissent guères par le refroidissement subit, et dont les boulets coulés en coquilles peuvent être parfaitement sphériques après avoir été rebattus.

Les boulets coulés en sable, quoiqu'en tous cas moins gravés que ceux qui sont coulés en coquilles, le sont encore et le deviennent d'autant plus que la fonte est moins pure et plus épaisse.

Les projectiles pleins prennent en général une surface gravée par les crasses qui s'en détachent ou qui s'y impriment au rebattage. Ces impuretés peuvent se produire dans le four, ou bien elles peuvent adhérer aux projectiles avant qu'ils y soient portés : des causes accidentelles peuvent aussi les faire naître. Le sable argileux, la boue par exemple qui adhère à leur surface, se vitrifie au feu en absorbant une certaine quantité d'oxide de fer et peut occasionner des gravures. Un boulet rouillé, ne devient pas aussi beau après le rebattage que s'il avait eu une surface nette. C'est donc par une bien grande insouciance qu'on jette souvent les boulets dans la boue après qu'ils ont été coulés et qu'on les expose à la pluie. Le sable qui provient du moule dans lequel le projectile a été coulé et dont on

ne parvient pas à le dépouiller entièrement au moyen de la râpe, peut produire des gravures. C'est ce qui prouve aussi l'avantage qu'il y a de faire lisser le boulet avant qu'on ne le soumette au rebattage.

Les soufflures constituent un grand défaut dans les boulets, ces cavités sont plus ou moins apparentes. Presque tous en ont une au centre et lorsqu'elle manque, on remarque que la matière s'y trouve moins dense ou plus spongieuse que partout ailleurs. La fonte y paraît toujours un peu grise lors même qu'elle est blanche en général. Mais la cause principale des rebuts dans certaines usines, ce sont de très-petites soufflures qu'on remarque au pôle supérieur. Ces trous sont souvent si petits à l'extérieur qu'on a de la peine d'y faire entrer une épingle, mais quelquefois ils sont profonds, s'élargissent en dedans, et forment alors de véritables chambres. Les boulets coulés en fonte blanche liquide ne présentent pas ce défaut; il devient d'autant plus prononcé que la fonte est plus épaisse et plus grise. C'est probablement pour cette raison qu'il est aussi moins sensible dans les boulets coulés en coquilles. Au reste, le marteau ne fait pas justice de ces boulets criblés de petites soufflures, il ne brise que ceux qui sont en fonte blanche, ou ceux qui ont été trop chauffés.

Les boulets trop petits peuvent se corriger par une chaude suivie d'un très-lent refroidissement qu'on opère dans du *fraisil chaud ;* c'est de la petite braise enflammée, mêlée avec des cendres : ils y restent de 24 à 48 heures. On est obligé ensuite de les rebattre une deuxième fois, parce que leur surface s'oxide et devient trop raboteuse. Ces boulets augmentent encore très-souvent de diamètre au rebattage. Ce serait donc un très-mauvais moyen que de vouloir diminuer le calibre des boulets en les rebattant plusieurs fois. On ne peut y parvenir que par une très-forte oxidation qui, à la longue, diminue le boulet en

le rongeant ; mais sa surface devient alors très-gravée : cette opération ne doit pas être tolérée.

On a essayé d'utiliser les projectiles brisés ou hors de service, en les refondant dans les fourneaux à la Wilkenson ; mais cette fabrication, qui s'exécutait dans les arsenaux, n'a paru avantageuse sous aucun rapport.

La fonte de deuxième fusion, lorsqu'elle a les qualités requises, donne en général des produits plus beaux que ceux qu'on obtient avec la fonte de hauts fourneaux. Mais nous avons vu dans le cours de cet ouvrage que le fer cru qu'on veut refondre, doit avoir une couleur grise et provenir de minérais un peu réfractaires ; de plus, il faut que la fusion s'exécute dans des cubilots d'une certaine hauteur. Lorsque ces conditions ne sont pas remplies, la fonte ne peut acquérir une assez grande liquidité, elle devient épaisse, blanche et impropre à la fabrication des objets moulés. Or la fonte de caffuts ou projectiles brisés, obtenue en général de minérais très-fusibles, est presque toujours blanchâtre : elle devait être d'autant plus disposée à blanchir entièrement, qu'on la refondait dans des fourneaux très-bas ; si l'on avait augmenté la hauteur de ces cubilots, il aurait fallu une plus grande force motrice pour activer les soufflets.

Rappelons encore qu'on ne peut faire de beaux boulets sans les lisser et sans les rebattre, opérations qui exigent des appareils particuliers, et qui auraient entraîné à des complications de travaux hors de proportion avec le but proposé. Ces boulets de caffuts, soumis d'ailleurs au lissage et au rebattage, auraient probablement été d'une qualité inférieure à celle des boulets qu'on peut maintenant obtenir dans les usines ; puisque la fonte de caffuts se comporte mal à une seconde fusion, effectuée surtout dans des fourneaux d'une si faible hauteur.

Les essais que nous venons de citer, ont toutefois démontré que dans certaines circonstances, on peut, à l'aide de dispositions fort simples, convertir les caffuts ou les boulets de calibres étrangers en projectiles de service. Si donc, dans une place assiégée, les projectiles venaient à manquer, on pourrait, par ce moyen, s'en procurer une certaine quantité. De plus, si l'on avait beaucoup de matières à refondre, on pourrait couler un cylindre à lisser; les projectiles seraient alors d'un très-bon usage.

DE LA RÉCEPTION DES PROJECTILES.

On emploie, pour la réception des projectiles, les instrumens que nous allons désigner:

1° Des cylindres dont le diamètre est d'une ligne plus petit que celui de la bouche à feu, si c'est une pièce de campagne, ou d'une ligne et demie, si c'est une pièce de siége, et dont la longueur est égale à cinq calibres;

2° Trois lunettes: la plus grande a le diamètre du cylindre; la petite a 9 points en moins pour les boulets, une ligne pour les bombes et 6 points pour les obus de 6° et de 24; la lunette intermédiaire sert uniquement à vérifier la marche de la fabrication: si elle a été bonne, les trois quarts au moins des projectiles ne doivent pas passer par cette lunette, bien qu'on ne pourrait en refuser aucun, lors même qu'ils y passeraient tous. Dans la fabrication, on doit toujours chercher à se rapprocher de la grande lunette. C'était à tort qu'anciennement on prescrivait de se régler sur un moyen terme entre la grande lunette et la petite;

3° Des compas courbes, pourvus de limbes gradués; ils servent à mesurer l'épaisseur des parois dans les projectiles creux; il en faut de plusieurs grandeurs pour les divers calibres;

4° Des sondes, avec lesquelles on mesure l'épaisseur du projectile au pôle opposé à l'œil;

5° Des rondelles pour le diamètre extérieur et le diamètre intérieur de l'œil;

6° Des calibres entaillés sur de petits morceaux de tôle, donnant le maximum et le minimum d'épaisseur que le projectile peut avoir à l'œil;

7° Un marteau à main avec une panne platte et une panne pointue;

8° Des bancs ou tables en forts madriers;

9° Enfin des épingles fines pour la découverte et le sondage des soufflures.

DE LA RÉCEPTION DES PROJECTILES CREUX.

Les projectiles creux comprennent les grenades, l'obus de 24, celui de 6°, celui de 8°, la bombe de 10° et celle de 12°.

Avant de commencer une réception, l'officier qui y préside doit examiner d'abord très-soigneusement tous les instrumens. Les cylindres ainsi que les lunettes se vérifient avec des rondelles qui ne sont destinées que pour cet objet. Les rondelles se mesurent avec le nonius ou bien avec un calibre fait exprès d'après le nonius. On n'a pas besoin de vérifier plusieurs fois ces rondelles, puisque leur diamètre ne peut s'accroître. Il n'en est pas de même des lunettes, elles doivent être vérifiées toutes les fois qu'on veut en faire usage; le frottement qu'elles éprouvent aux réceptions, tend à en augmenter le diamètre.

Quant aux compas d'épaisseur, leurs pointes s'usent très-vite; on doit donc les examiner fréquemment, étant fermés, et voir si les pointes se touchent, lorsque la branche supérieure correspond au o du limbe: la même observation s'applique à la sonde.

Les tolérances accordées pour l'épaisseur des parois, ou bien les différences entre les minima et les maxima respectifs, sont maintenant d'une ligne pour les obus de 24 et de 6°, deux lignes pour l'obus et la bombe de 8°, 4 lignes pour les bombes de 10° et pour celles de 12°. Anciennement on accordait même 2 lignes pour les obus de 6°. Une ligne suffit amplement, 18 points seraient assez pour les projectiles de 8° et les bombes de 12° pourraient se confectionner avec 2 lignes de tolérance; c'est-à-dire une ligne en-dessus et une ligne en-dessous du diamètre de la lunette intermédiaire. La tolérance concédée pour l'épaisseur au culot, n'est généralement que la moitié de celle de l'épaisseur des parois, sauf les obus de 6° et de 24 dont la tolérance à l'épaisseur des parois, réduite déjà de moitié, se trouve égale à celle du culot, si toutefois ils ne sont pas concentriques.

Quant aux lumières, elles n'ont point de tolérances déterminées : cependant Gassendi prescrit de rebuter les bombes et les obus dont les lumières auraient 3 points en-dessus ou au-dessous des dimensions fixées. Le diamètre du haut diffère d'une ligne de celui du bas dans les bombes, et de 9 points dans les obus.

Le cylindre ne s'emploie pas pour les bombes, et pour les obus on pourrait s'en dispenser aussi sans aucun inconvénient; on juge infiniment mieux la sphéricité de ces gros mobiles, en y appliquant la lunette intermédiaire, qu'en les faisant rouler dans le cylindre incliné à 1 pouce pour 5 calibres, comme il est prescrit dans l'aide-mémoire.

Pour que l'opération marche sans confusion, avec l'exactitude requise et une rapidité convenable, le travail doit se diviser entre quatre personnes, au moins, servies par 4 à 6 canonniers. Une d'elles tient les lunettes; une deuxième est chargée de mesurer l'épaisseur des parois à l'œil et d'examiner l'obus sous le rapport des soufflures ou ca-

vités; une troisième tient le compas d'épaisseur; une quatrième la sonde: les canonniers nettoient les projectiles, les portent sur le banc, les passent d'une personne à une autre et les jettent ensuite sur les tas qu'on leur désigne.

L'officier ou le contrôleur qui tient les lunettes, rebute tous les projectiles qui refusent de passer par la grande lunette ou qui passent par la petite, ne serait-ce que dans un seul sens. Il distingue ceux qui passent par la lunette intermédiaire; on les place sur un tas séparé, après qu'ils ont subi les autres vérifications. Il examine leur degré de sphéricité qui se laisse juger parfaitement bien à l'aide des lunettes, et il rebute ceux qui sont aplatis ou alongés aux pôles.

L'officier chargé de ce qui concerne les soufflures ou cavités, commence par mesurer l'épaisseur de la paroi à l'œil, ensuite il y introduit le doigt, pour découvrir les soufflures intérieures, qui dans certaines coulées sont très-fréquentes, et qui détermineraient le rebut. Il examine ensuite l'obus extérieurement, surtout au jet et autour de l'œil. Si, au premier aspect, il voit que la fonte manque de compacité, il recherche les soufflures avec l'épingle et refuse le projectile, si l'une quelconque des petites soufflures s'élargit en-dedans ou se prolonge à deux lignes. Il frappe avec la panne du marteau autour de l'œil, soit pour détacher les pellicules, s'il en existe, soit pour juger aussi de la densité du métal par le son rendu. S'il lui reste du doute sur une soufflure, il emploie la pointe du marteau et agit alors avec précaution, pour ne pas trop endommager l'obus ou la bombe; si la soufflure est bien constatée, il frappe fortement pour la mettre à nu et pour dégrader le projectile qui est alors rebuté. Dans le cas contraire, si ses dimensions à l'œil sont dans les limites voulues et qu'il n'ait point d'autres défauts, on le passe plus loin.

L'officier qui tient le compas d'épaisseur, mesure le projectile aux parois, sur 4 points. Il est essentiel que les pointes soient appliquées sur la couture, seul cercle où le compas peut mesurer une normale à la surface; si la mesure se prenait en-dessous ou en-dessus, le limbe donnerait une indication trop grande: il faut donc toujours prendre le minimum, en faisant un peu varier le compas.

Enfin le projectile passe entre les mains de celui qui tient la sonde. La manière de faire usage de cet instrument dépend de sa forme. S'il est tel que la tige puisse par un moyen quelconque se placer avec exactitude dans le sens perpendiculaire au plan de la couture et normal à la surface du projectile, il suffit qu'on le pose avec soin et qu'on prenne la mesure indiquée soit par un nonius soit par une simple division. Lorsque la sonde n'offre pas cette facilité, on en varie un peu la position, ainsi que cela se pratique avec le compas; mais on prend ensuite pour la mesure de l'épaisseur du culot *le maximum de l'indication*, parce que la plus grande épaisseur se trouve nécessairement sur la ligne des pôles. Ces espèces de tâtonnements se font avec beaucoup de rapidité; on acquiert sous ce rapport une grande habitude en peu de temps, parce que les mouvements à exécuter sont petits et peu nombreux.

Il est à remarquer qu'en se guidant seulement sur les parois de l'œil, on ne peut diriger la tige de la sonde dans le sens exact de la ligne des pôles; l'axe de la lumière peut s'écarter souvent de cette ligne. On le conçoit facilement par la manière dont s'exécute la fabrication des projectiles: l'œil s'alèze à chaud, et l'alézoir n'est conduit que par la main de l'ouvrier. Il s'ensuit que la moindre déviation, presqu'insensible du côté de l'œil, doit jeter le prolongement de l'axe de la lumière à une certaine distance du pôle. Voilà ce qui oblige de faire varier un peu la position de l'instrument: d'ailleurs on y est souvent forcé par des

accidens qu'on rencontre dans le projectile; tels qu'une légère cavité ou une petite élévation qui ne peuvent déterminer le rebut. Dans ce cas il faudrait tâtonner un peu, lors même que la sonde offrirait l'avantage précité, comme par exemple celle qui est due à M. le chef d'escadron Moret.

Il arrive souvent qu'un défaut n'est pas assez prononcé pour motiver le rejet d'un projectile; mais on le rebute s'il montre plusieurs de ces défauts, bien qu'aucun d'entre eux ne soit très-grave.

Les bombes se reçoivent de la même manière que les obus. On doit porter une grande attention aux mentonnets dont la fonte n'est pas toujours saine; c'est la partie faible de ce genre de projectile. Il faut aussi que les anneaux puissent jouer librement et s'abattre en entier. On ne rebute presque jamais de bombes pour inégalité de parois, puisque les tolérances sont tellement larges que les ouvriers, même les moins habiles, ne les dépassent presque jamais.

DE LA RÉCEPTION DES BOULETS.

La réception des boulets est beaucoup plus simple que celle des projectiles creux. Lorsqu'ils sont bien nettoyés; (et on devrait toujours les recevoir au moment où ils arrivent des forges, avant qu'ils n'aient pu se couvrir de rouille), on les examine très-attentivement et l'on sonde les soufflures avec une épingle comme on le pratique pour les projectiles creux. On les fait tourner dans la grande lunette, et on leur présente la petite lunette dans plusieurs sens. Y appliquant ensuite la lunette intermédiaire, on juge le mieux de leur sphéricité. Ils sont rebutés lorsqu'ils montrent des dépressions, des soufflures ou d'autres enfoncemens ou cavités de deux lignes de profondeur. Quand au contraire on les a jugés admissibles, on les

laisse rouler par le cylindre qui doit avoir deux pouces de pente, sur une longueur de 5 calibres. On met sur un tas séparé ceux qui passent par la lunette intermédiaire.

On doit avoir soin de retourner le cylindre plusieurs fois dans une séance, afin qu'il ne s'use pas toujours sur le même côté. Quand un projectile est engagé dans le cylindre et qu'il s'arrête, on le fait sortir en le poussant du côté opposé à l'entrée avec un manche en bois. Autrefois cet accident arrivait très-souvent lorsque les boulets étaient coulés en coquilles; manquant de sphéricité ils passaient quelquefois très-librement en plusieurs sens par la grande lunette, et s'arrêtaient ensuite dans le cylindre.

On pèse un vingtième des projectiles reçus, pour déterminer leur poids, qui est presque toujours plus grand que celui qui se trouve fixé dans les tables et par la dénomination des calibres; parce qu'on tâche d'obtenir des projectiles qui s'approchent le plus qu'il est possible de la grande lunette, tandis qu'en calculant les tables on est parti du principe que le calibre exact a pour diamètre, la moyenne entre les diamètres des lunettes de réception. Si ce principe était rigoureusement introduit dans la fabrication, elle deviendrait plus facile; mais les projectiles auraient plus de vent que n'en ont ceux qu'on fabrique maintenant, et ils seraient sous ce rapport d'un service moins bon.

Le fournisseur reprend et enlève à ses frais les projectiles rebutés, sans pouvoir réclamer aucune indemnité pour les transports; mais comme il importe à l'Artillerie de ménager l'intérêt des propriétaires de forges autant que cela est compatible avec l'intérêt du service, les Officiers qui surveillent la fabrication, font des réceptions provisoires dans les usines, et ces premières réceptions donnent lieu au plus grand nombre des rebuts.

TABLE

Des Ouvrages et des Auteurs cités par M. Karsten, dans ce volume de la Métallurgie du fer.

602. Mémoire sur les soufflets des forges à fer, qui a remporté le prix proposé par la société royale de Biscaye, établie à Bergara, en Espagne, par Grignon; mémoires de physique sur l'art de fabriquer le fer. Paris, 1755, p. 210 à 233.

615. *Schauplatz der Künste und Handwerker,* publié par Justi, tome II, p. 95 et suiv. — Lewis, *Zusammenhang der Künste,* tome I, p. 417 à 512; tome II, p. 518 à 525. — Lapeyrouse, mémoire sur les mines et les forges du comté de Foix. — Muthuon, traité des forges dites catalanes. Turin, 1808, p. 39 à 44. — Grignon, mémoire sur les soufflets des forges à fer dans l'ouvrage cité précédemment, p. 192 et suiv. — Barthès, expériences sur les trompes; mémoires des savans étrangers de l'académie des sciences, tome III, p. 378. — Mémoire sur les soufflets hydrauliques; addition au 3me cahier de l'ouvrage de M. Marcher, qui a pour titre *Notizen und Bemerkungen über den Betrieb der Hohöfen und Rennwerke. Klagenfurth,* 1810; *Venturini*, théorie des trompes, *Gilbert's Annalen der Physik,* tome III, p. 130 à 142. — Beaunier et Gallois, expériences faites sur les trompes de la fonderie de Poullaouen; Journal des Mines, tome VI, n° 91, p. 37. — Thibaud et Tardy, expériences sur les trompes; Annales des Mines, 1822, tome VIII, p. 595.

616. Ritter, *Bemerkung über die Wirkungsart des Wasserdampfs der Klipsteinschen Maschine*; *Scherer's allgemeines Journal der Chemie*, tome I, p. 436. — Lewis, *on the blowing of air into furnaces by a fall of Water; commercium philosopho-technicum,* 1763; ou bien, *Gill's technical repository,*

tome VIII, p. 167 à 174, 195 à 203, 307 à 313, 324 à 333; tome IX, p. 5 à 16, 77 à 82.

618. F. K. L. Koch, *Versuche und Beobachtungen über die Geschwindigkeit und Quantität verdichteter, atmosphérischer Luft, welche aus Oeffnungen von verschiedener Konstruction und durch Röhren auströmt. Göttingen*, 1824, p. 177 et suiv.

620. Reitemeier, *Geschichte des Bergbaues und Hüttenwesens bei den alten Völkern*, p. 78 et suiv., 123 et suiv.

629. Mémoire sur un nouveau soufflet de forge à trois vents; Annales des arts et manufactures, tome XXXIX, p. 295 à 301.

631. Madelaine, Notice sur plusieurs soufflets en cuir, à vent continu; Annales des mines, tome IV, p. 271 à 282.

648. Hausmann, *Reise durch Scandinavien*, tome IV, p. 169 à 195.

662. Description d'une machine soufflante à cylindre de bois; Annales des arts et manufactures, tome X, pag. 26 à 36. — Hermann, sur les différentes espèces de soufflets; *Crell's Beiträge zu den chemischen Annalen*, tome V, p. 285. — Baillet, description des soufflets cylindriques en fonte du pays de Namur; Journal des Mines, n° 16, p. 9 à 16. — Baillet, Description de la machine soufflante du Creusot, p. 17 à 20. — Observations sur les soufflets cylindriques en fonte à piston, suivies de la comparaison de ces soufflets avec ceux de bois ordinaires à liteaux et à charnières; et de la description des soufflets en bois à piston, construits à Guerigny, département de la Nièvre, n° 38 p. 105 à 117. — Lefroy, Mémoire sur les machines à pilons, n° 77, p. 363 à 378. Suite du mémoire, n° 80, p. 106 à 123; n° 82, p. 261 à 276; n° 83, p. 351 à 371. — J. Baader, *Beschreibung und Theorie des englischen cylinder Gebläses*. Munich, 1805. — D'Aubuisson, observations sur les machines soufflantes à piston des usines à fer dans le sud-ouest de la France; Annales des mines, tome XI, p. 161 et suiv.

665. J. Baader, *Beschreibung eines neü erfundenen Gebläses. Göttingen*, 1794. — Observations sur la découverte d'un soufflet à eau, *Crell's Annalen* pour 1794, tome II, p. 332 à 346. *Moll's Annalen der Berg und Hüttenkunde*, tome I, 3e livraison, p. 30; et tome II, 2e livraison, p. 350. — A. F. Ludické, *Bemerkungen über das hydrostatische cylindergebläse des Hrn Baader, Gilbert's Annalen der Phys.*, tome I, p. 1 à 10. Sur la machine soufflante hydraulique de M. Baader, Journal des Mines, n° 169, p. 51 à 54.

667. D'Aubuisson, description et examen d'une machine soufflante à tonneaux; Annales des mines, tome IX, p. 521.

684. Description d'une cave à air et à eau, pour égaliser le courant d'air des machines soufflantes des hauts fourneaux; Annales des Arts, etc., tome III, p. 134 à 139. Mémoire sur les divers effets produits par la compression, la qualité et la vélocité de l'air, employé dans les machines soufflantes, et chassé à travers les hauts fourneaux, *ib.* IV, p. 118à 128; 234 à 245; sur les voûtes ou réservoirs à air combinés avec les hauts fourneaux, et destinés à égaliser le courant d'air des machines soufflantes, *ib.* tome III, p. 31 à 50. — Roebuck, description de quelques faits observés dans la cave à air des hauts fourneaux de Devon; *Gilbert's Annalen der Physik*, tome IX, p. 45 à 60. — Baader, dans l'ouvrage précité; Annales des Arts et Manufactures, tome III, p. 31 et suiv.

703. Stünkel, observations sur l'estimation de la force motrice et sur la vitesse du vent; Jordan's *und* Hasses *Magazin f. Eisenberg und Hüttenkunde*, 1re année, 3e livraison, p. 240 à 281. — Baader, dans l'ouvrage cité au paragraphe 665. — Roebuck, sur les ventimètres et sur le rapport de la vitesse au volume de l'air, *Gilbert's Annalen der Physik*, tome IX, p. 53 à 58. — Banks, sur les ventimètres et sur l'écoulement de l'air renfermé dans des vases; *ib.*, tome XXII, p. 286 à 291. — Sur les machines soufflantes, avec la description des machines soufflantes hydrauliques; Annales des arts et manufactures, tome XV, p. 225 à 246. — G. G. Schmidt, sur la dilatation de l'air

humide ou sec, *Gren's neues Journal der Physik*, tome IV, p. 320 à 355. — GILBERT, Évaluation de la quantité d'air fournie par une machine soufflante, *Gilbert's Annalen der Phys.*, tome XXVIII, p. 388 à 396. — D'AUBUISSON, dans le mémoire précité (662).

704. F. K. L. KOCH, *Versuche und Beobachtungen über die Geschwindigkeit und Quantität verdichteter atmospherischer Luft, welche aus Oeffnungen von verschiedener Construction und durch Röhren auströmt. Göttingen*, 1824. — G. G. SCHMIDT, *Versuche über die Gesetze, wonach gasartige Flüssigkeiten aus engen Oeffnungen von verschiedener Gestallt und durch Röhren, unter einem gegebenem Druck auströmen; Gilbert's Annalen der Physik*, 1824, tome VI, p. 39 à 83, et *Archiv für Bergbau*, etc., tome IX, p. 451 et suiv. — D'AUBUISSON, expériences gazométriques, à l'effet de déterminer la dépense réelle d'un orifice d'où sort un courant d'air; Annales des mines, tome XIII, p. 483 à 504.

DE LA RÉDUCTION DES MINÉRAIS POUR EN OBTENIR DE LA FONTE.

717. Sur la construction des hauts fourneaux des monts Urals, HERMANN, *mineralogische Beschreibung des uralischen Erzgebirges. Berlin*, 1781, tome I, p. 416.

720. BERTHIER, sur plusieurs moyens imaginés pour employer la flamme perdue des hauts fourneaux, des foyers d'affinerie, etc.; Journal des Mines, n° 210, p. 375 à 406. — OEYNHAUSEN, sur l'emploi de la flamme des hauts fourneaux, pour la cuisson de la chaux; *Archiv für Bergbau*, tome VI, p. 396. — KLIPSTEIN; sur le même objet; *Archiv für Bergbau*, etc., tome VIII, p. 180.

730. KARSTEN, *metallurgische Reise durch einen Theil von Bayern und durch die süddeutschen Provinzen Oesterreichs Halle*, 1821, p. 22.

736. HACQUET, *Physikalische Erdbeschreibung des Herzogthums Krain*. Leipzig, 1778. — Voyages Métallurgiques de Jars,

tome I, p. 37 et suiv. — QUANZ, *Eisen und Stahlmanipulation in der Herrschaft Schmalkalden*, p. 29 et suiv. — MARCHER, *Notizen und Bemerkungen über den Betrieb der Hohœfen und Rennwerke*, cahier III, p. 20 et suiv.; cahier V, p. 12 et suiv.— KARSTEN, *Bemerkungen über den betrieb der Stücköfen in dem Hennenbergischen*, *Archiv für Bergbau*, tome VIII, p. 239.

741. KARSTEN, sur la construction *der flussöfen* dans l'ouvrage précité (730).

745. MARCHER, *Notizen und Bemerkungen*, etc., premier cahier, p. 1 à 5. — QUANZ, *Abhandlung über die Eisen und Stahl*, etc., p. 45 à 81. — JARS, Voyages Métallurgiques, tome I, p. 34 et suiv. — KLINGHAMMER, *Bergmännisches*, Journal 1788, tome I, p. 156 à 167; *ib.*, p. 193 à 234; p. 303 à 327. *Moll's Jahrbücher der Hüttenkunde*, tome I, p. 10 et suiv.; *ib.* p. 31; sur les forges de Pillersée; *ib.* sur les forges de *Kiefersfelden*, p. 68 et suiv. — BLUMHOF et STUNKEL, *Neues Bergmännisches*, Journal, tome III, p. 224 à 233.—PANTZ et ATZL, *Beschreibung der vorzüglichsten Berg-und Hüttenwerke des Herzogthums Steyermark. Wien* 1814. — KARSTEN, *Archiv für Bergbau*, tome VIII, p. 239 et suivantes.

775. ROEBUCK, sur le rapport de la vitesse au volume de l'air; *Gillbert's, Ann. der Phys.*, tome IX, p. 54 à 58, ou Annales des Arts et Manufactures, tome III, p. 39.

808. Ecrits qui traitent de la forme intérieure et de la construction des hauts fourneaux. — BALKE, observations sur la production de la fonte et sur la forme des hauts fourneaux. — *Tolln's und Gœrtner's Eisenhütten Magazin Beil:* p. 24 et suiv. — COURTIVRON et BOUCHU, Art des forges. — GERHARD, Traduction en allemand des voyages métallurgiques de Jars, tome II, p. 656. — JENNING, Description d'un haut fourneau construit déjà en 1755. Mémoires suédois, tome XVIII, p. 176 et suiv. — GARNEY, sur la construction et le travail des hauts fourneaux, tome I, p. 206 et suiv., tome II.—Trois mémoires de LAMPADIUS, HERMANN et SCHINDLER, sur la différence du fer cru au fer ductile. —HERMANN, sur la forme de quelques hauts fourneaux de Sibérie;

Beschreibung des uralichen Erzgebirges, tome I, p. 240, 328, 416 et suiv.—Hermann, sur la hauteur, la forme et la construction des hauts fourneaux; *Crell's Beiträge zu dem chemischen Ann.*, tome V, p. 276 et suiv.—Eversmann, *Uebersicht der Eisen und Stahlerzeugung auf Wasserwerken zwischen der Lahn und der Lippe*, p. 104 à 141.—Sur la forme des ouvrages des hauts fourneaux de Norwége; Haussmann's *Reise durch Scandinavien*, tome II, p. 300.—Marcher's, *Beiträge zur Eisenhüttenkunde*, tome I, p. 1 à 4.—Observations sur les hauts fourneaux en général et sur les différentes espèces de fonte qu'ils produisent, avec une nouvelle méthode de disposer les étalages, pour obtenir une plus grande quantité de métal à chaque fondage; Annales des Arts et Manufactures, tome V, p. 225 à 237.—Sur les étalages des hauts fourneaux et sur une nouvelle forme à donner aux tuyères des machines soufflantes; *ib.* tome IX, p. 125 à 131.—Sur les ouvrages des hauts fourneaux avec la description d'un ouvrage à trois tuyères, adapté à un vieux fourneau par Oreilly; *ib.* tome X, p. 113 à 137.—Haut fourneau à double coulée; *ib.* tome XXIV, p. 113 à 116.—Dobson, forme à donner aux fourneaux; *ib.* tome XLI, p. 225 à 268.—Hassenfratz, Sidérotechnie, tome I, p. 179 à 261; *ib.* tome II, p. 177 à 188.—Althans, sur la construction des hauts fourneaux cubilots; *Archiv für Bergbau*, etc., tome XII, p. 259 et suiv.

809. Fabrication de briques réfractaires, à Eisenerz, pour la construction des cuves des hauts fourneaux, *Steyermärkische Zeitschrift*, 5me livraison, p. 36 à 44.

810. Détonnation qui a eu lieu dans un haut fourneau qu'on *fumait; Gilbert'h Ann. der Physik*, tome XX, p. 256.

821. Karsten, *métallurgische Reise*, etc., ouvrage cité au paragraphe 730.

873. Karsten, influence de la température sur la nature des produits qu'on obtient par la fusion des minérais dans les hauts fourneaux; *Archiv für Bergbau*, etc., tome XIII, p. 211 et suiv.; traduit en français dans les Annales des Mines, 1827, 2me série, tome I, p. 209.—Le même auteur, sur le traitement des minérais phosforeux; *Archiv für Bergbau*, etc. tome XV, p.

3 à 69.—STENGEL, sur la formation de la fonte blanche lamelleuse; Archives, tome IX, p. 215 et suiv. — Le même auteur, sur le même objet et sur la formation du graphite dans les hauts fourneaux; *Archiv für Bergbau*, tome XIII, p. 234 et suiv. et tome XV, p. 177 et suiv. — BERTHIER, de l'action des alkalis et des terres alkalines sur quelques sulfures métalliques; Annales de Chimie et de Physique, tome XXXIII, p. 154.

877. STENGEL, dans le mémoire précité paragraphe 783. — STRÖM, sur le traitement des scories de forges dans les hauts fourneaux; Archives, tome VII, p. 274 et suiv.

881. MITSCHERLICH, sur la formation des scories et particulièrement des scories de cuivre; Archives, tome VII, p. 235 et suiv. Voyez aussi les Annales des mines, tome IX, p. 166 et les Annales de Chimie et de Physique, tome XIV, p. 172, et tome XIX, p. 145. — BREDBERG, essai pour déterminer la composition des scories qui se forment dans les opérations en grand; *Archiv für Bergbau*, tome VII, p. 248 et suiv.

888. GRIGNON, mémoire contenant des observations et des principes sur la fritte des forges à fer; mémoire de physique sur l'art de fabriquer le fer, p. 296 à 305. — Le même auteur, mémoire sur des cristallisations métalliques, pyriteuses et vitreuses artificielles, formées par le moyen du feu; dans le même ouvrage, p. 476 à 481. — F. KOCH, *Beiträge zur Kenntnis Kristalnischer Hüttenproducte. Göttingen*, 1822. — Du titane métallique et du sulfure de fer et de manganèse trouvés dans les laitiers de hauts fourneaux et dans des fentes de l'ouvrage; *Archiv. f.*, etc., tome IX, p. 518 à 538.

892. Il n'existe guères d'ouvrages qui puissent être consultés sur le travail des hauts fourneaux. Nous citerons toutefois, sans compter ceux qui ont été désignés au paragraphe 802, les écrits suivans :

GRIGNON, Mémoire de Sidérotechnie, contenant des expériences, observations et réflexions sur les moyens de laver et de fondre les mines de fer, dans les mémoires de physique, p. 92. — GAZEREN, sur le fer cru obtenu au coke; *Crell's chemi-*

sche Ann. pour 1793, tome II, p. 326 à 334; *ib.* pour 1800, tome I, p. 436 à 440. — HALLE, des forges à fer, *Wergstätte der heutigen Künste*, tome III, p. 205. — DUHAMEL, observations sur le traitement des minérais de fer à la fonte; mémoires de l'Académie des Sciences, année 1786, p. 456. — GEYER, sur la conduite d'un haut fourneau dont on veut suspendre le fondage sans *mettre hors; Crell's Ann.* pour 1802, tome I, p. 482 et suivantes. — STUNKEL, *über das Dampfen der Hohöfen; ib.* pour 1800, tome I, p. 223 et suiv. — Notice sur une très-longue campagne du fourneau de Rothehütte; *ib.* pour 1802, tome I, p. 215 et suiv. — HERMANN, sur la quantité de charbon brûlée par livre de fer cru; *Crell's Beiträge zu den chemischen Ann.*, tome V, p. 310. — VELTHEIM, *Bemerkungen über den Eisenhüttenhaushalt. Helmst.*, 1795. — *Crell's Ann.* pour 1790, tome I, p. 387 et suiv. *Crell's Beiträge zur Erweiterung der Chemie*, p. 53 et suiv., p. 161 et suiv. *Tolln's und Gärtener's Eisenhüttenmagazin Beil.*, p. 1 et suiv., p. 19 et suiv. — EVERSMANN, *Uebersicht*, etc., tome XXVI. — Sur les effets produits par la compression, la quantité et la vélocité de l'air employé dans les machines soufflantes, et chassé à travers les hauts fourneaux; Ann. des Arts et Manufactures, tome IV, p. 21 à 29, 118 à 128, 234 à 246. — Sur l'emploi du carbonate calcaire dans la fabrication de la fonte de fer; *ib.* tome V, p. 113 à 130. Description des hauts fourneaux des Anglais pour la fabrication de la fonte avec des cokes; notice sur la mise en feu de ces fourneaux; *ib.* tome VII, p. 27 à 40. Suite du mémoire, manière de reconnaître la qualité de la fonte par l'apparence des gueuses, p. 113 à 126. — Sur l'origine et les progrès de la fabrication de la fonte avec les charbons de terre; comparaison entre la valeur et les produits des fontes faites avec les coaks, le charbon de bois et la tourbe carbonisée; *ib.* tome VI, p. 225 à 238 et tome XV, p. 9 et suiv. — *On the production of cast iron an the operations of the blast fournaces; by* Dr MUSHET; *Tilloch's philosophical Magazine*, tome V, p. 124 à 135. — MUSHET, sur le rapport de la consommation du coke à celle du charbon de bois dans les hauts fourneaux; *Archiv für Bergbau*, tome XI, p. 119 à 124. — KARSTEN, *metallürgische Reise*, etc., etc.

896. RINMAN, tome II, p. 697 et suiv. — GARNEY, tome II, p. 120 et suiv.

924. RÉAUMUR, art d'adoucir le fer fondu. Paris, 1722, premier et second mémoire. — SWEDENDORG, *de ferro*, p. 218 et suiv. — GRIGNON, mémoire d'artillerie sur une nouvelle fabrique de canons de fonte épurée, ou de régule de fer; mémoire de physique sur l'art de fabriquer le fer. Paris, 1775, p. 426 à 443.

925. NORBERG, sur la production de la fonte en Russie et sur une nouvelle manière de refondre le fer cru dans des fourneaux à manche mobiles, traduit du suédois en allemand, par BLUMHOF. *Freiberg*, 1805.

946. EVERSMANN, *Eisen-und Stahlerzeugung auf Wasserwerken zwischen Lahn und Lippe*, p. 309 et suiv. — Description d'un fourneau pour fondre de petites quantités de fonte; Annales des Arts et Manufactures, tome XII, p. 225 à 231.

949. KALLSTENIUS, essai sur la détermination de la quantité d'air qui passe par un four à réverbère; *Archiv für Bergbau*, etc., tome V, p. 345 à 354.

951. GILL, *technical repertory*, 1825, p. 97 et Annales des Mines, tome XIII, p. 520.

969. Notice sur un fait observé à la fonderie de Bourth; Journal des Mines n° VI, p. 38 à 40.

983. Observations sur le travail des fours à réverbère; EVERSMANN. *Eisen-und Stahlerzeugung*, etc., p. 289 à 293. — Description des fours à réverbère actuellement employés en Angleterre, avec une notice sur leur conduite et leur construction; Ann. des Arts, tome XIV, p. 225 à 233. — JARS, Voyages métallurgiques, tome I, p. 213 et suiv. — DE VANDERBROECK (d'après Duhamel), sur la forme et le travail des fours à réverbère; *Archiv für Bergbau*, tome II, p. 141 à 158.

996. Des dispositions prises à la fonderie de St-Pétersbourg pour la torréfaction des moules de bouches à feu; *Archiv für Bergbau*, etc., tome II, p. 171.

1070. GRIGNON, mémoire de physique sur l'art de fabriquer le fer, d'en fondre et forger des canons d'artillerie. Paris 1775. — RÉAUMUR, nouvel art d'adoucir le fer fondu, etc. Paris, 1722. — *Ueber die Amsterdamer Eisengiesserei, Bergmäniches*, journal pour 1791, tome II, p. 102 et suiv. — SPRENGEL'S, *Handw. und Künste.* Berlin, 1790. — MONGE, l'art de fabriquer les canons. — *Abbildung der Waaren welche zu Gleiwitz und Mlapane gegossen werden.* Leipzig, liv. 1 à 40. — Recueil de dessins des objets coulés qu'on fabrique dans la fonderie royale de Berlin. 1820. — Recueil de dessins des objets coulés dans la fonderie royale de Sayner. Bonn, 1823. — Dessins de la plupart des objets coulés qu'on fabrique dans les fonderies royales de Bavière. Munich, 1822. — Nouveau recueil de dessins des objets coulés fabriqués dans les fonderies royales de Würtemberg. Stutgard, 4 cahiers. — Dessins d'objets coulés aux forges de Mægdesprunge. *Quedlinburg,* 1823. — TIEMANN, *Abhandlung über die förmerei und Giesserei auf Eisenhütten* avec trois planches. Nürenberg, 1803. — Sur les fonderies de fer, avec une notice sur le moulage et la confection de toutes sortes d'objets en fer coulé; Annales des arts et manufactures, tome XVIII, p. 113 à 135. — Description d'une chambre à moulage pour les petites fonderies, combinée avec des fourneaux de carbonisation pour les charbons de terre; *ib.* tome XIX, p. 242 à 244. — WUTTIG, *Kunst aus Bronze kolossale Statuen zu giessen.* Berlin, 1814. — Essai sur les opérations pratiquées lors de la fusion en bronze des statues colossales d'un seul jet. St-Pétersbourg, 1810. — MARTINS, sur l'histoire de la fabrication des objets en fonte et particulièrement des objets d'arts, *Archiv für Bergbau*, etc., tome IX, p. 491 et suiv.

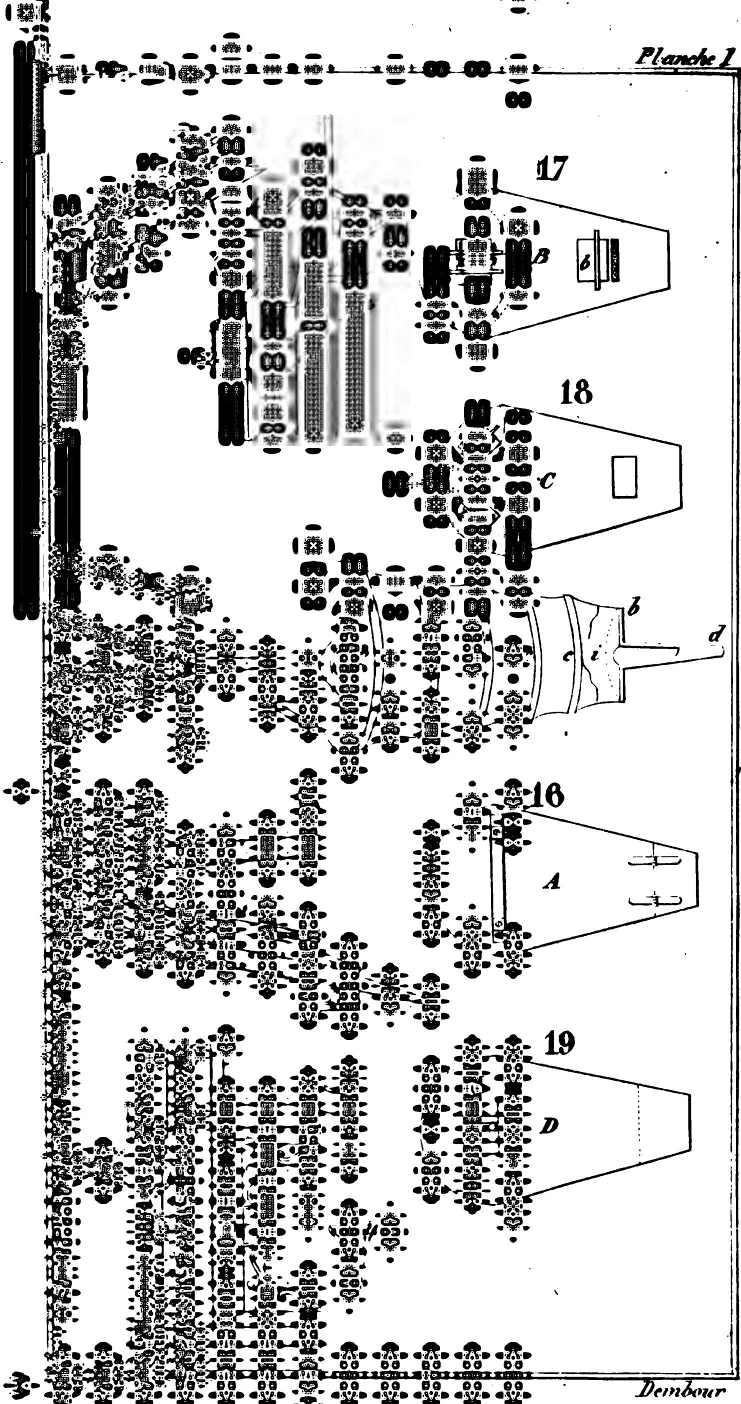
1073. Extrait du rapport fait à la société d'encouragement sur le prix donné à MM. Baradelle et Déodor, pour la fabrication de divers objets de petites dimensions en fonte de fer adoucie, par GILLET DE LAUMONT; Annales des mines, tome IV, p. 159 à 164.

1083. G. MONGE, description de l'art de fabriquer les canons. Paris, 1789. — U. HUGUENIN, *het gietwezen in's Rijks, jizer geschut gieterij, te luik, met betrekking, zoo tot het verwaardigen van geschut, projectiles, enz als tot de gebruikt*

wordende jizersoorten en derzelver Bewerkine. Graverhage, 1826.

1092. Rinman, tome I, p. 321, et suiv. — Bindheim, essai pour émailler le cuivre et le fer; *Crell's chem. Ann.* pour 1784, tome II, p. 5 à 9. — *Hannö. Mag.* pour 1801, p. 39 à 41. — Procédé pour émailler et orner les vaisseaux culinaires; Annales des arts et manuf., tome IV, p. 322 à 327. — *Kastern's deutsch. Gewerbsfreund*, tome I, cahier 3, p. 296.

FIN DU DEUXIÈME VOLUME.



Dembour

